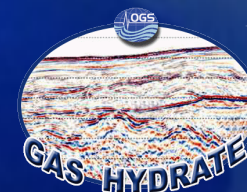


INTRODUZIONE AI GAS IDRATI

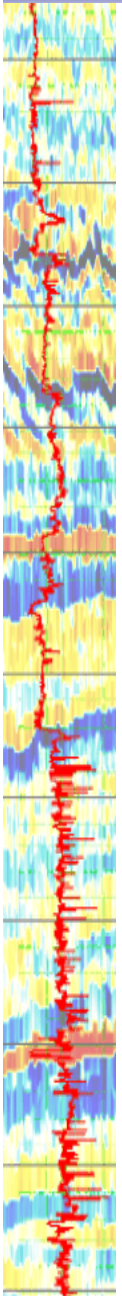
Istituto Nazionale di Oceanografia e
di Geofisica Sperimentale (OGS)

Davide Gei



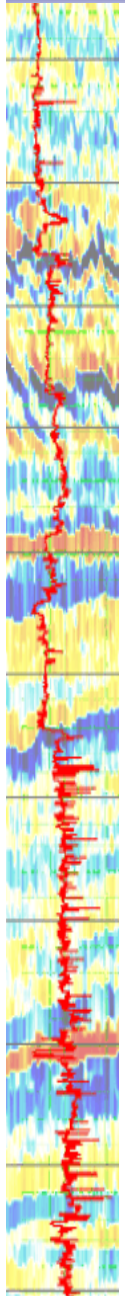
Gas idrati:

- Cosa sono
- Dove si trovano
- A cosa servono
- Esperienza dell' OGS



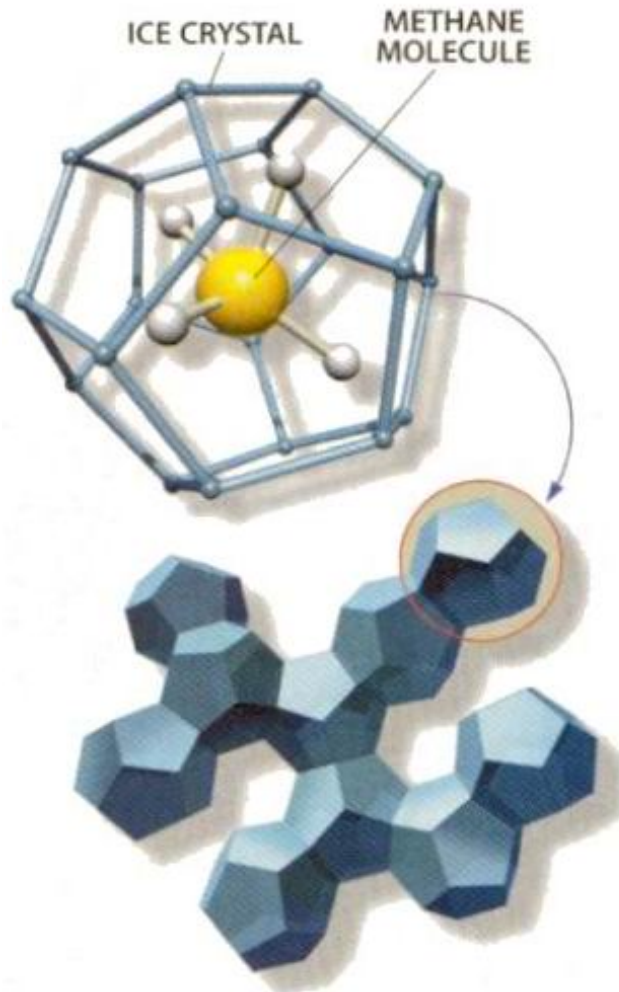
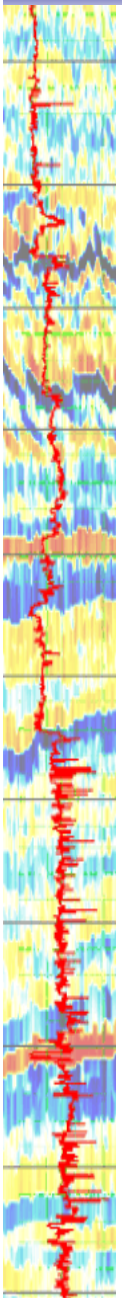


Un po' di storia



- **1778: Joseph Priestley ha prodotto idrati di ossigeno.**
- **1823: Michael Faraday ha enunciato la prima formula chimica di un gas idrato.**
- **Anni '30: gas idrati ostruiscono le gas pipelines.**
- **1964: scoperto gas idrato durante la perforazione di un pozzo in Siberia.**
- **Anni '70: scoperto gas idrato nei sedimenti oceanici.**
- **Anni '80: recuperati i primi campioni di gas idrato da sedimenti marini.**
- **Anni '90: l'Ocean Drilling Program inizia a cercare siti in cui sono presenti gli idrati.**
- **Oggi: grande interesse, interi progetti dedicati allo studio dei gas idrati.**

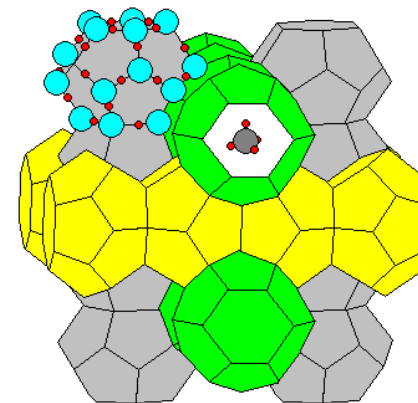
Struttura dei gas idrati



I gas idrati (clatrati) sono dei solidi naturali formati da ghiaccio e gas che va ad occupare le ampie cavita' interstiziali della struttura rigida. La presenza delle molecole di gas e' necessaria per la stabilita' del solido.

Si formano in condizioni di temperatura moderatamente bassa (anche superiore a 0°) e pressione moderatamente alta.

Il metano puo' avere origine biogenica o termogenica.



Tipi di gas idrato

Il ghiaccio cristallizza secondo il sistema cristallino esagonale.

Tipi di gas idrato

Tipo I (sistema cubico):

- forma cavita' di due tipi ma di dimensioni ridotte
- puo' contenere solo gas di dimensioni molecolari piccole (metano, etano, anidride carbonica)



Tipo II (sistema cubico):

- forma cavita' di due tipi
- puo' contenere gas di dimensioni molecolari grandi (propano, isobutano oltre che quelle relative al tipo I)

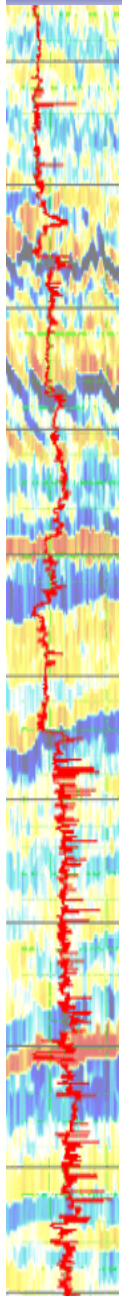


Tipo H (sistema esagonale):

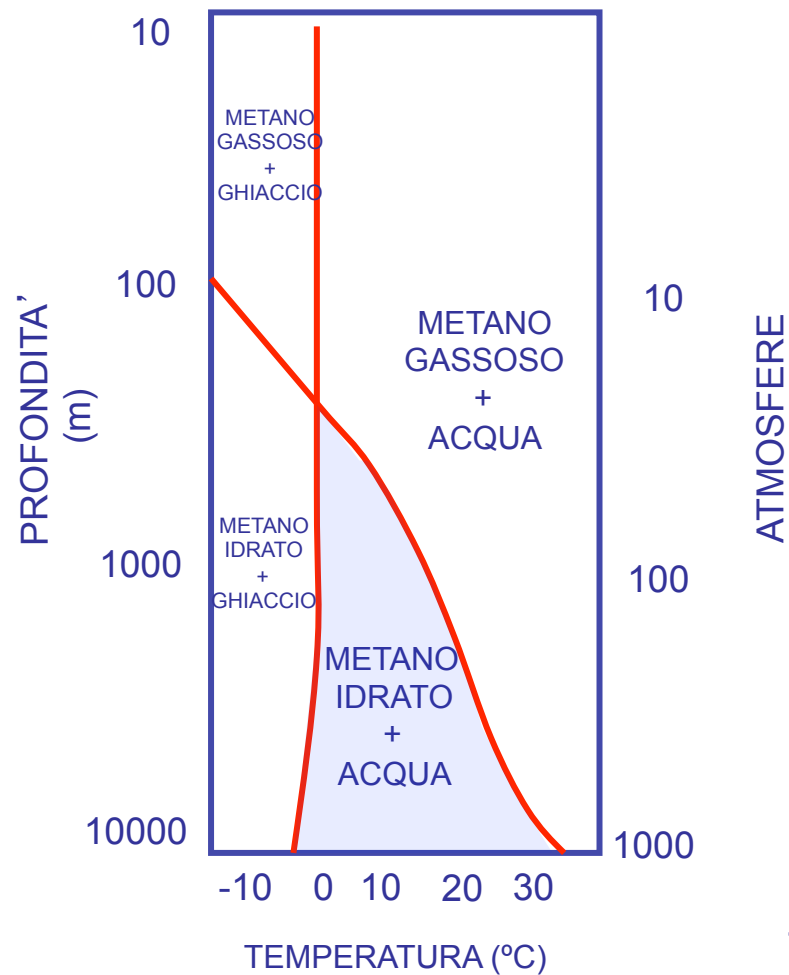
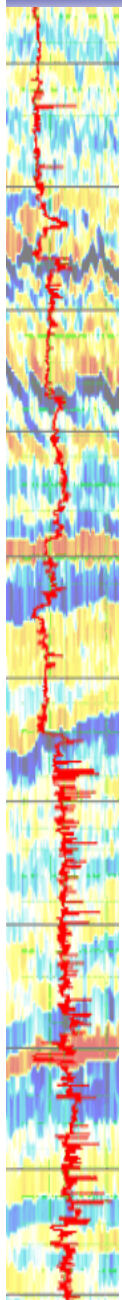
- forma cavita' di tre tipi
- contiene le molecole di gas piu' grandi ma solo in presenza di molecole piu' piccole (metano).



Esistono altri tipi di idrato ma sono poco comuni.



Pressione e temperatura



Requisiti per la formazione di gas idrati:

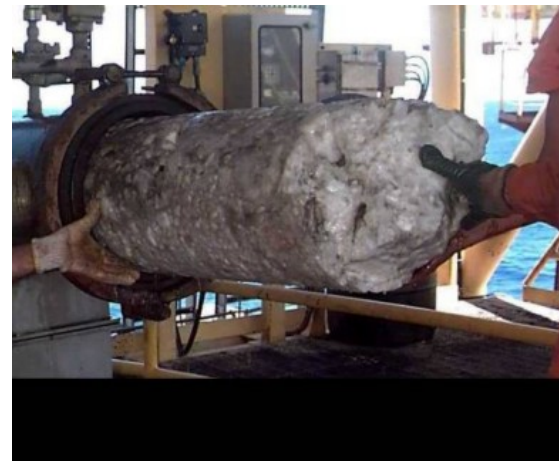
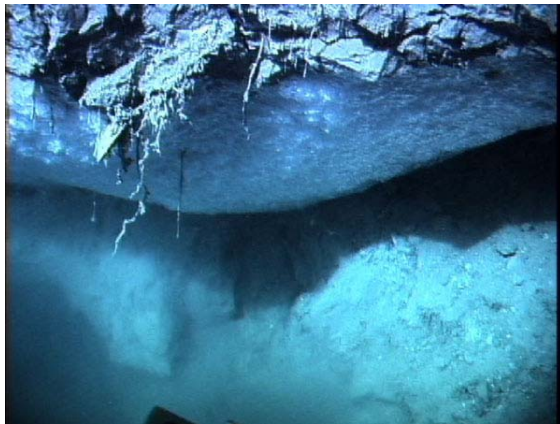
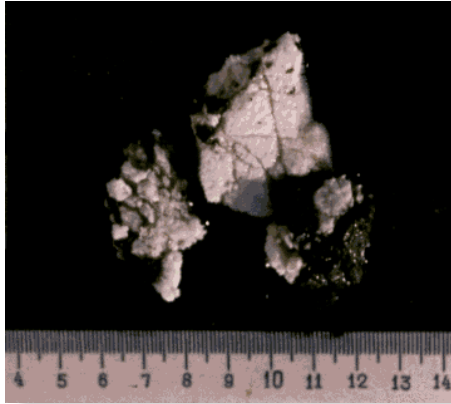
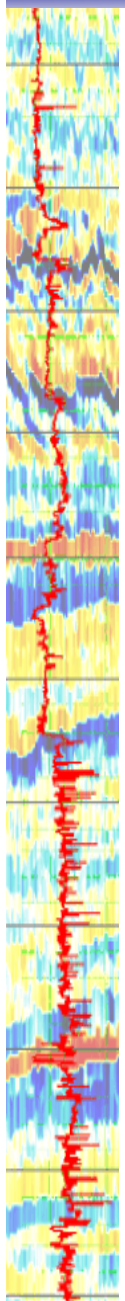
- Pressione adeguata (moderatamente alta)
- Temperatura adeguata (moderatamente bassa)
- Abbondanza di gas
- Tipo di sedimento – controllo litologico

Inibitori:

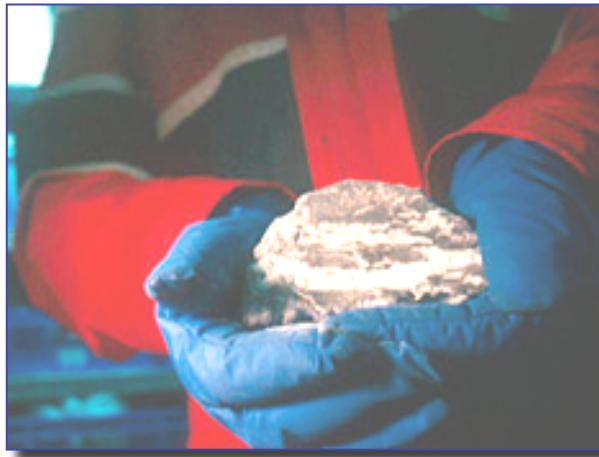
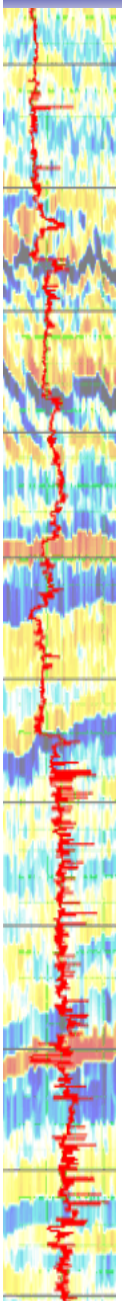
- Alcool
- Glicol (alcol bivalente-antigelo)
- Sali (anche NaCl)

La presenza di molecole di gas “grandi” (etano, propano, ecc.) sposta la curva di stabilita’ verso temperature piu’ alte.

Che aspetto hanno i gas idrati?



Che aspetto hanno i gas idrati?

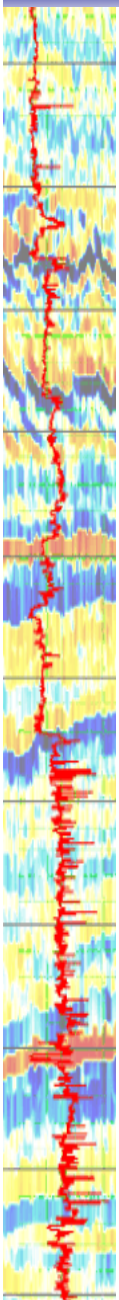




Perche' vengono studiati?

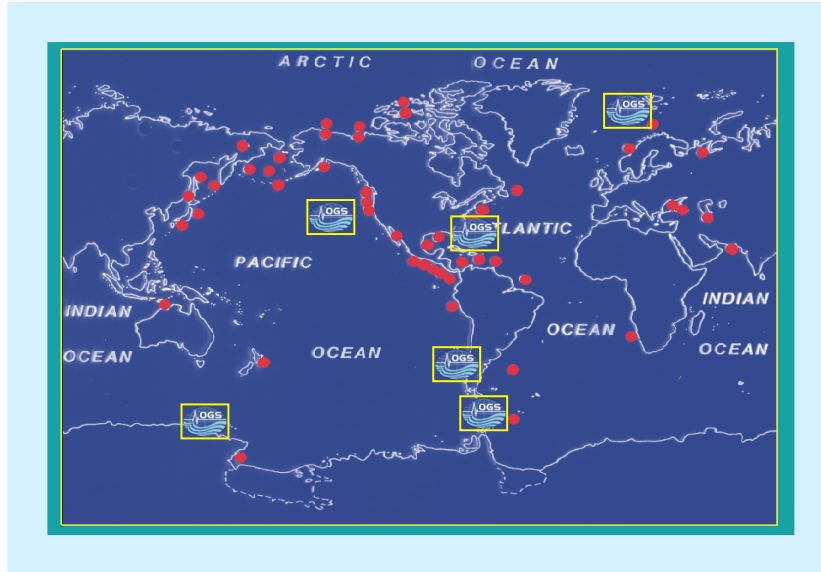
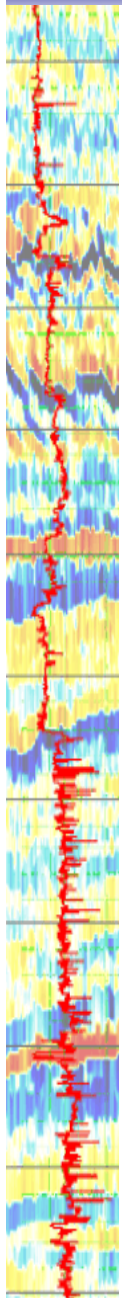
Gli idrati di gas naturale sono considerati:

- **Curiosita' scientifica**
- **Riserva di gas metano facilmente rilasciabile in atmosfera (influenza sul clima)**
- **Possibile fonte di energia**
- **Riserva di carbonio da includere nel ciclo globale**
- **Se dissocia causa instabilita' del pendio sottomarino**
- **Sistema alternativo di trasporto e/o deposito di CH₄ e CO₂**
- **Luogo di concentrazione di comunita' batteriche profonde**
- **Possibili responsabili della misteriosa sparizione di navi nel triangolo delle Bermude**





Distribuzione dei gas idrati



Regioni polari

Margini continentali (attivi e passivi)

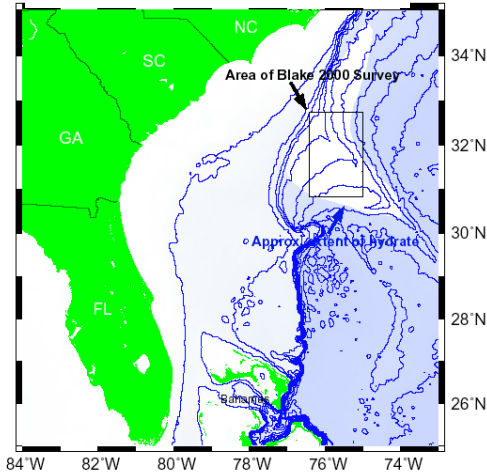
Ambiente continentale (permafrost)

Si stima che il 99% dei gas idrati si trovino in sedimenti marini. Gran parte dei gas idrati si trovano nelle prime centinaia di metri in zone con profondità del mare superiore a 500 m e in prossimità dei margini continentali.

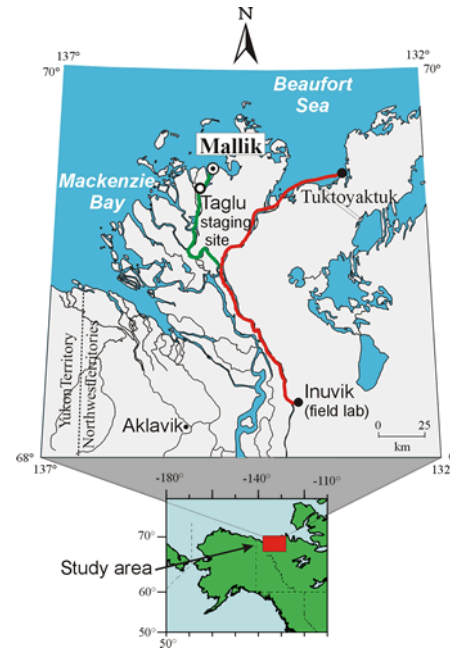


Alcuni siti importanti

Blake Ridge

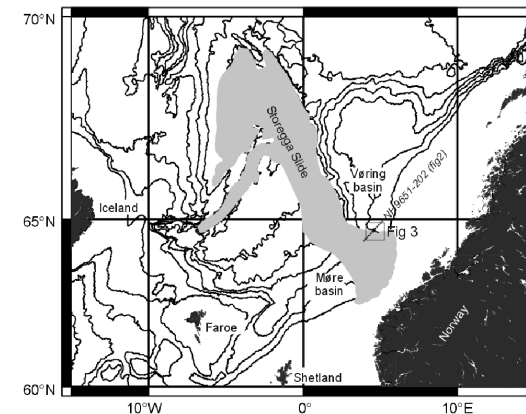
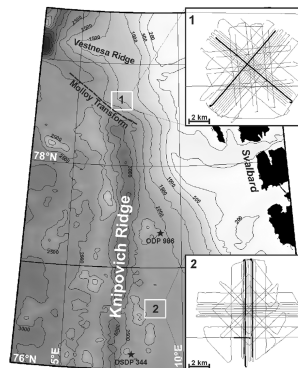


Dickens et al. (1997) affermano che il metano presente negli idrati del Blake Ridge potrebbe sostenere il fabbisogno di gas degli Stati Uniti per circa 100 anni (con consumi rapportati a quegli anni).



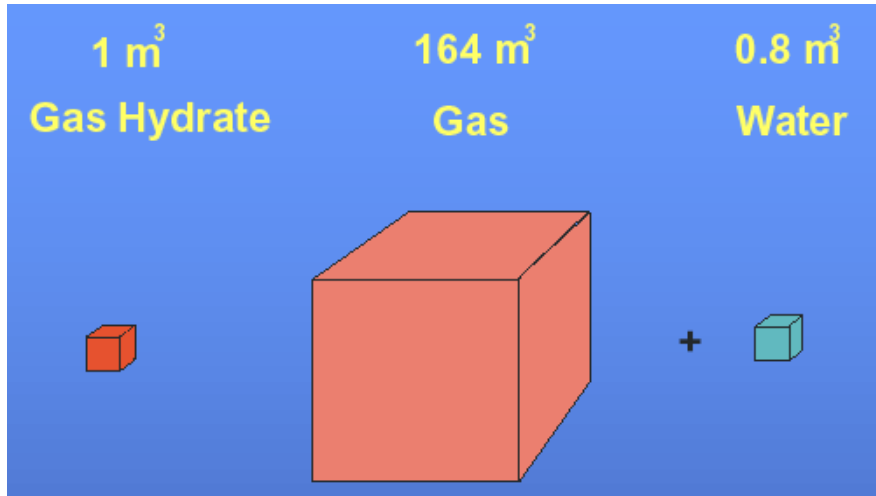
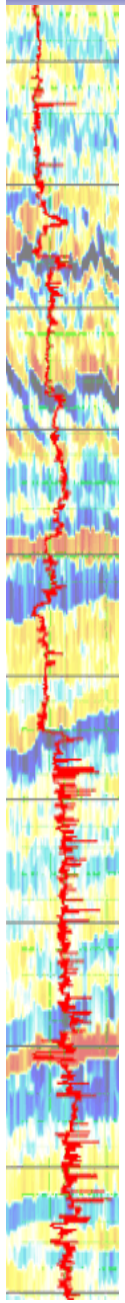
Mallik - Canada

Isole Svalbard



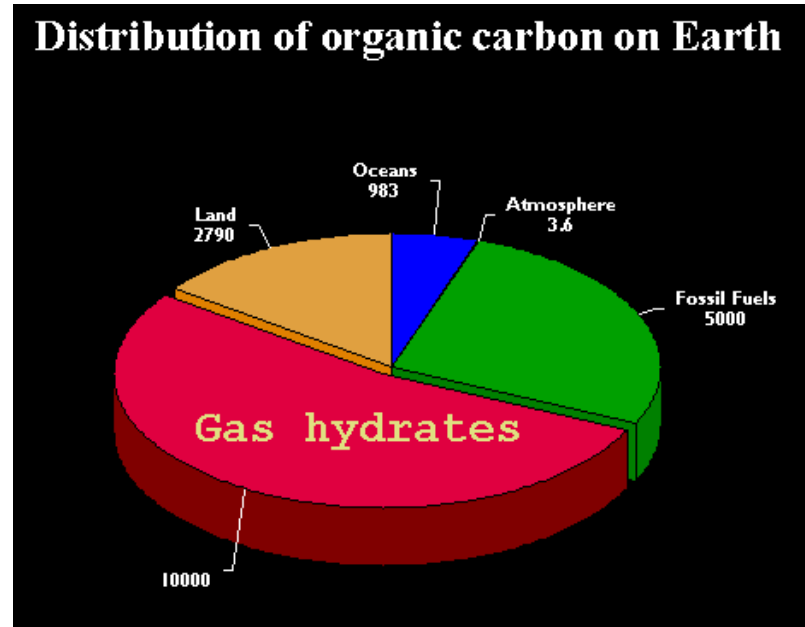
Storegga slide

Contenuto di metano



Le stime parlano di 10^{15} - 10^{17} m³ di metano a condizioni standard (298 K, 1 atm) distribuite sulla Terra sotto forma di idrato; in altre parole una quantità enorme.

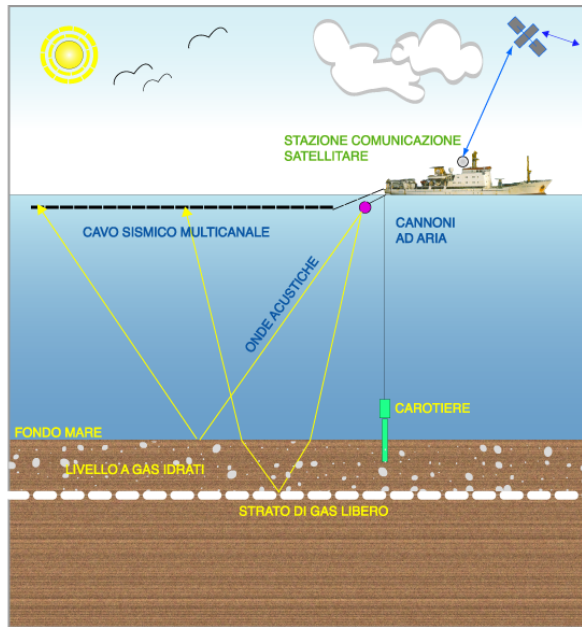
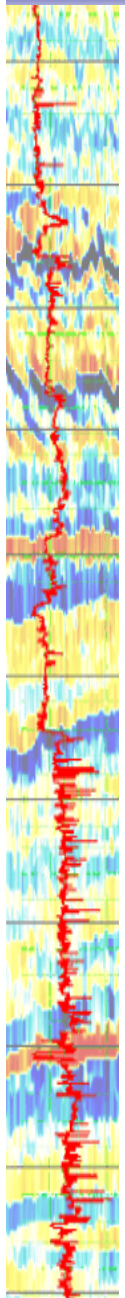
1 m³ di gas idrato produce 164 m³ di gas e 0.8 m³ di acqua a condizioni standard (25°, 1 atm)



In trillions m³ (10¹²)



Geofisica: sismica a riflessione



Attualmente la sismica a riflessione e' l'unico metodo geofisico indiretto, utilizzabile su larga scala, che consente di individuare la presenza di gas idrati.

Sismica - indicatori di gas idrato

- Bottom simulating reflectors
- Acoustic blanking
- Vulcani di fango, camini

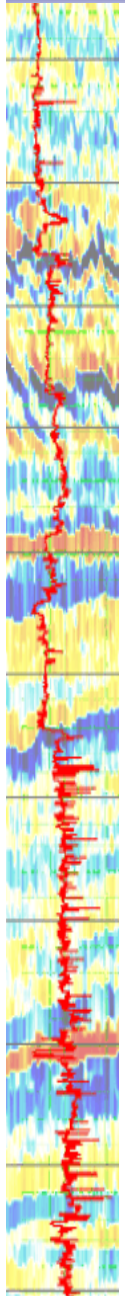


OGS - Explora

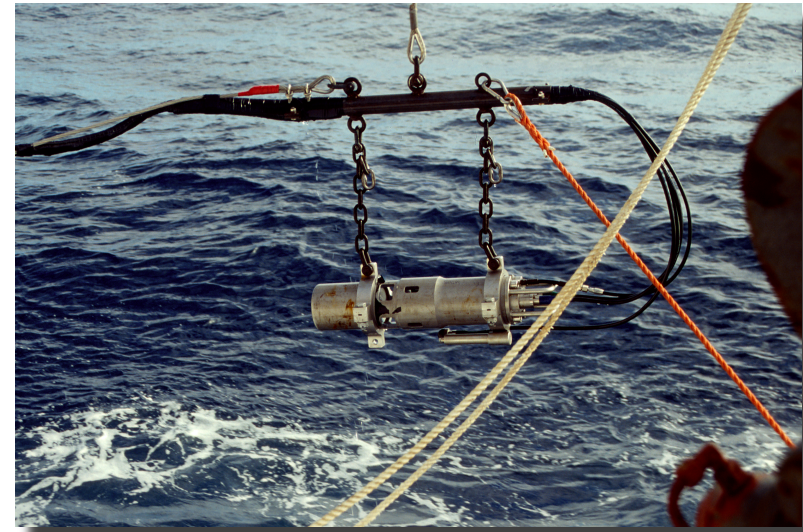




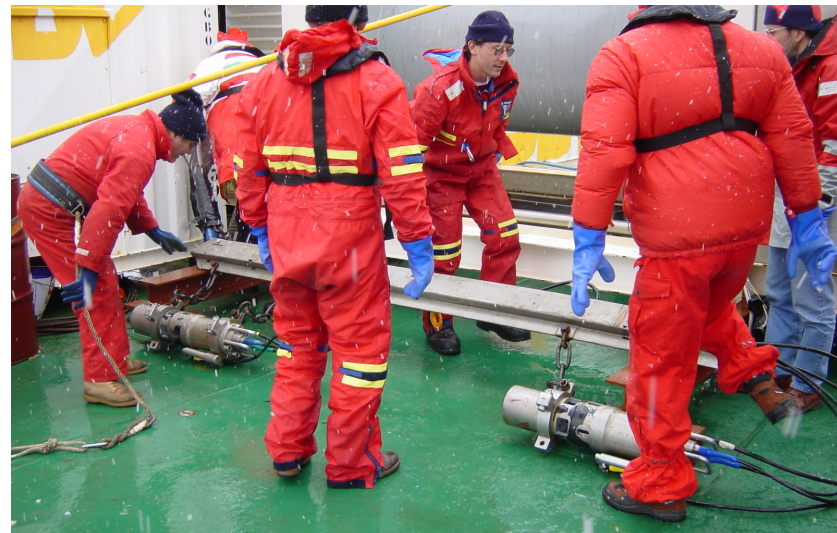
Geofisica: sismica a riflessione



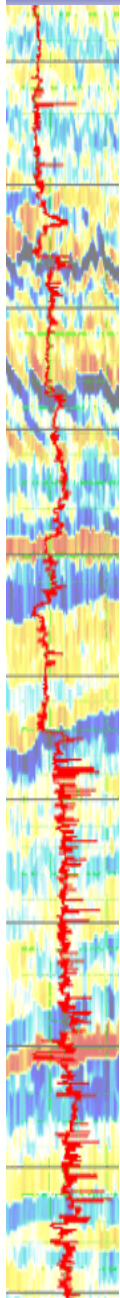
Lo streamer contiene i ricevitori (idrofoni)



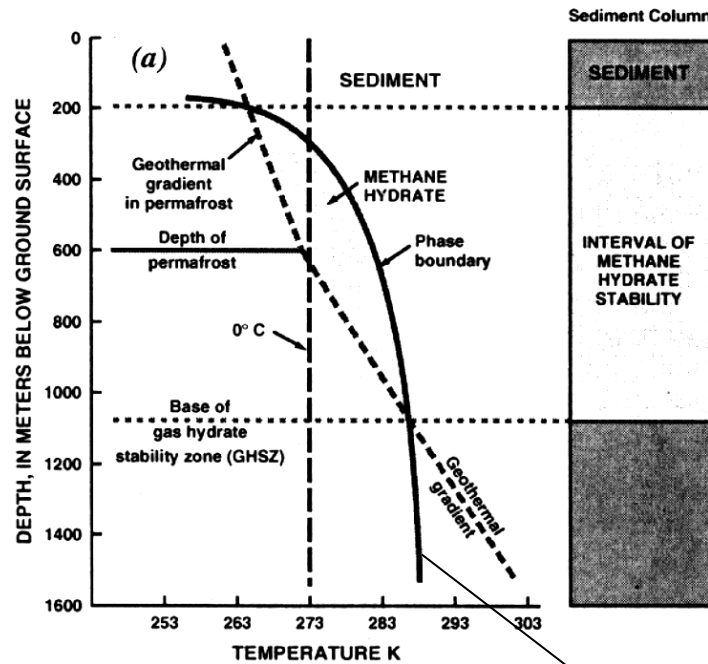
Sorgente sismica ad aria compressa: airgun



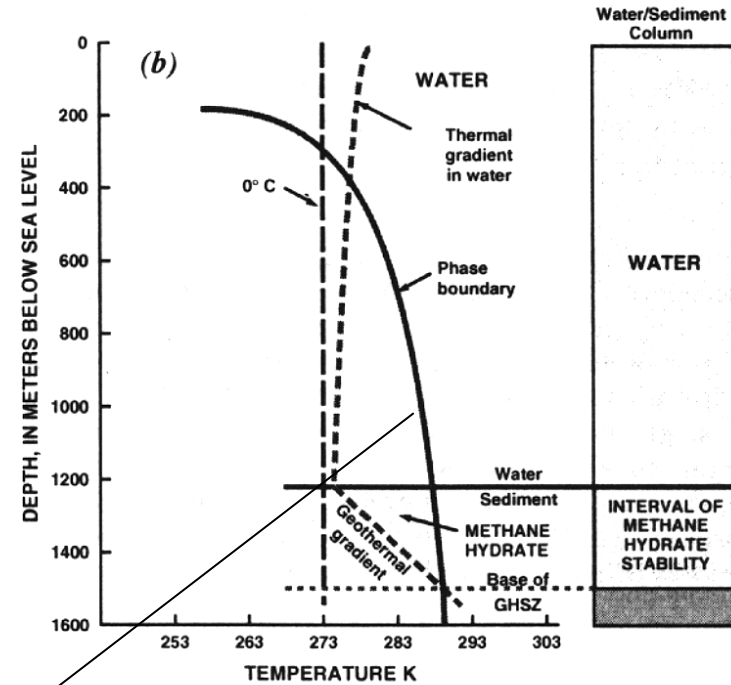
Gas hydrate stability zone (GHSZ)



Continental Methane Hydrate



Oceanic Methane Hydrate

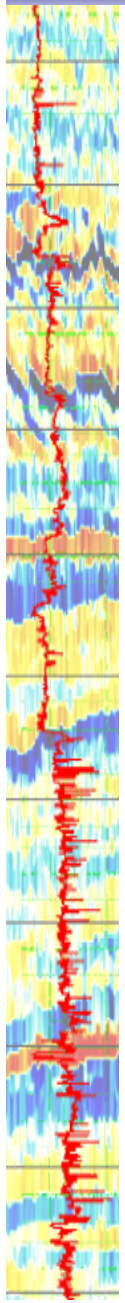


Curva di stabilita' dei gas idrati

GHSZ (Gas Hydrate Stability Zone):

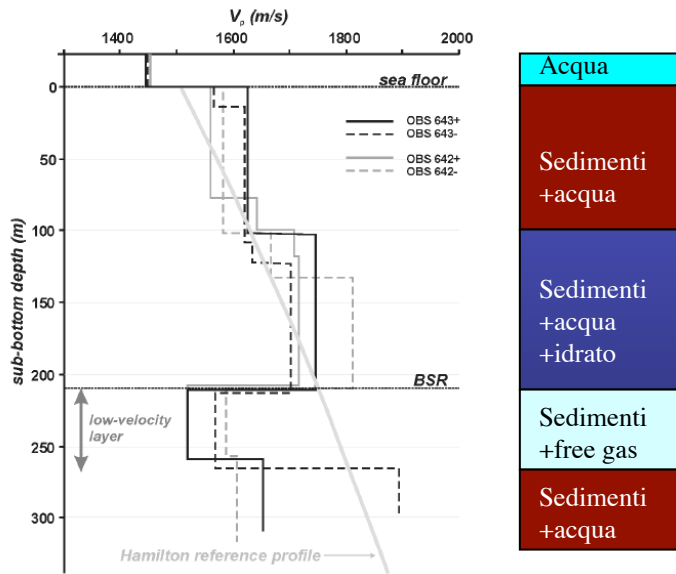
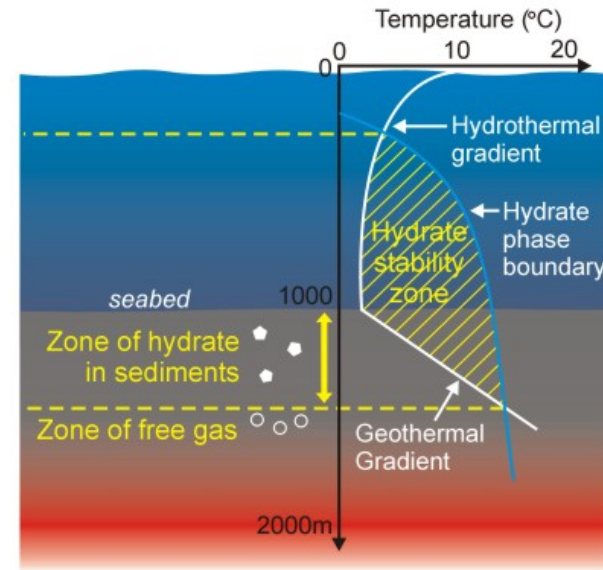
E' la zona in cui gli idrati sono stabili; e' data dall'intersezione della curva di stabilita' dei gas idrati (relazioni termodinamiche) con il gradiente geotermico.

Bottom simulating reflector (BSR)

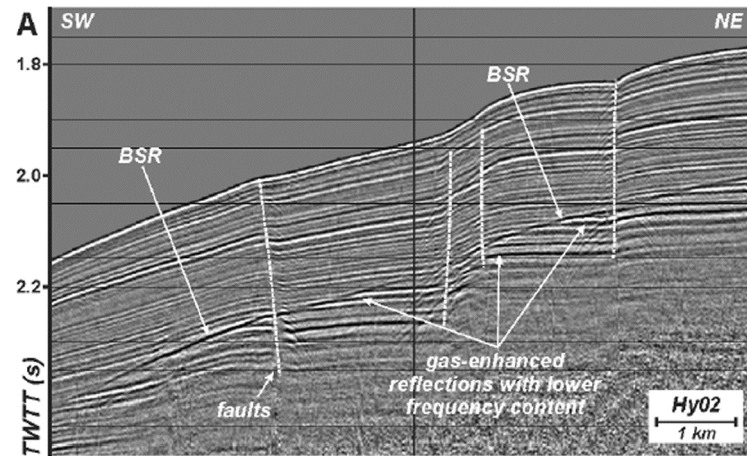


BSR:

- Forte ampiezza (elevato indice di riflessione)
- Riproduce l'andamento del fondo mare
- Polarità inversa rispetto alla riflessione del fondo mare
- Taglia gli orizzonti litologici
- Cambia la frequenza del segnale sismico
- Presenta caratteristiche diverse a seconda della frequenza della sorgente (frequency dependent)
- Può non essere presente (no free gas)

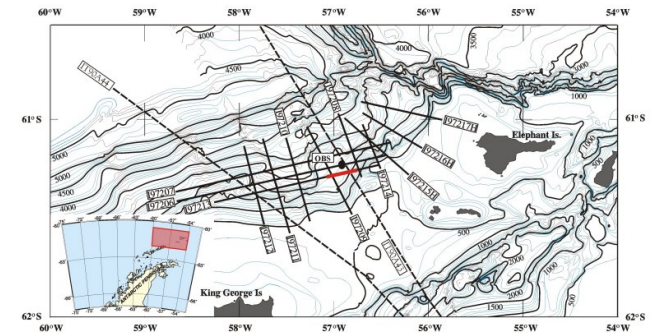
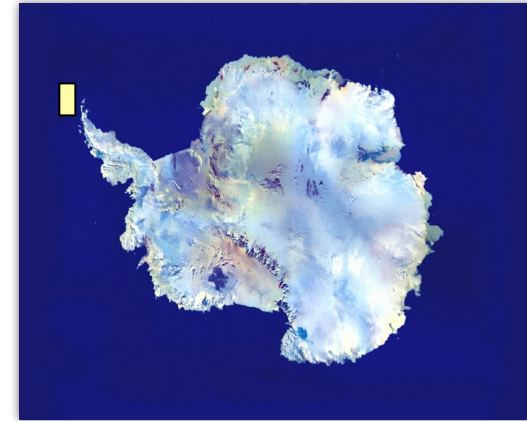
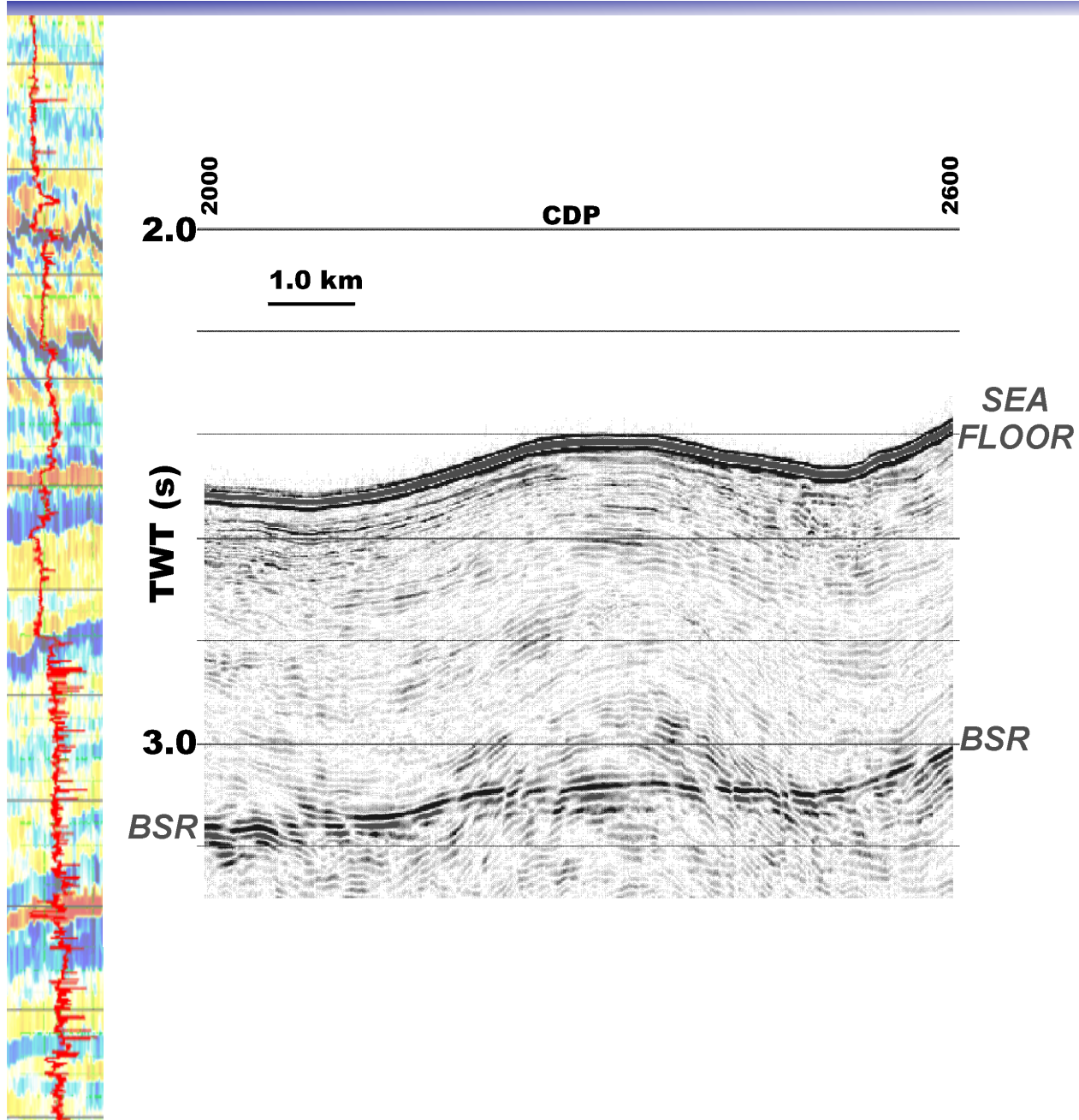


Profili verticali di velocità delle onde P





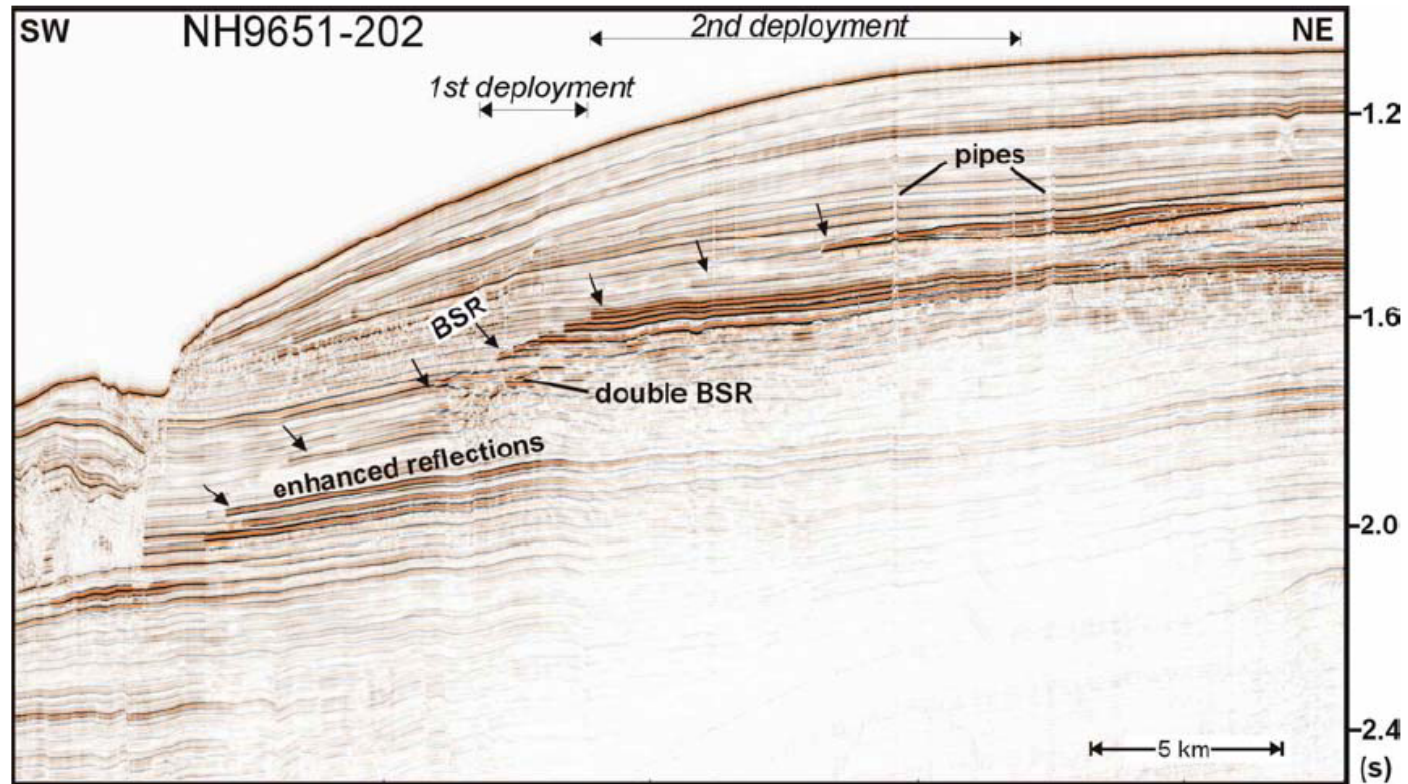
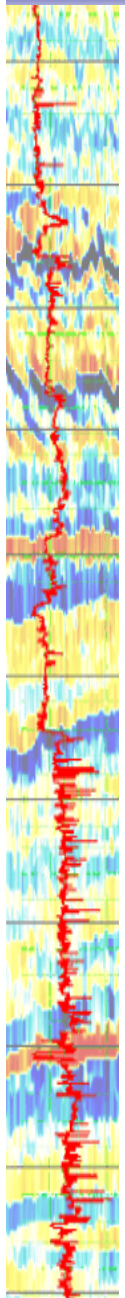
Bottom simulating reflector (BSR)



South Shetland Margin -
Scotia Sea

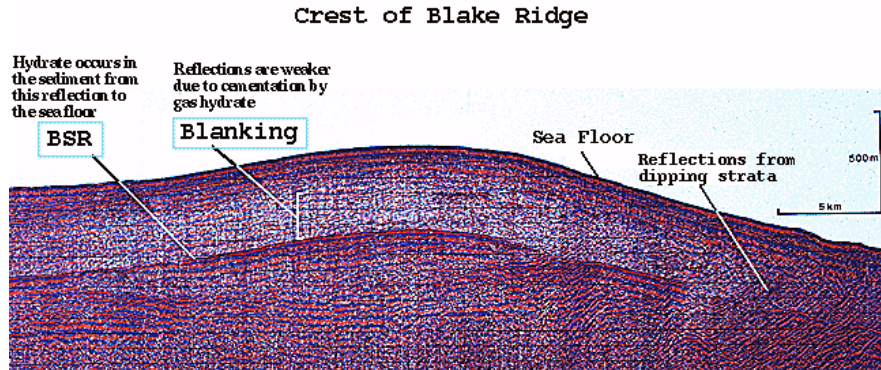
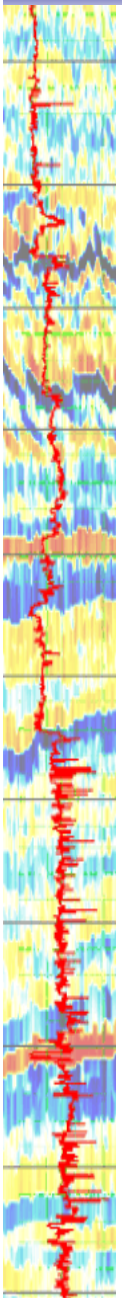


Bottom simulating reflector (BSR)

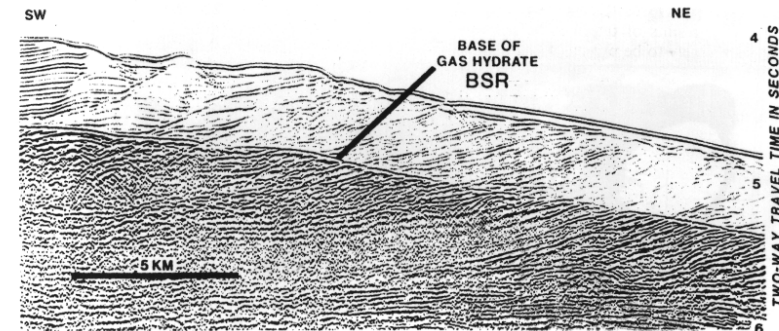
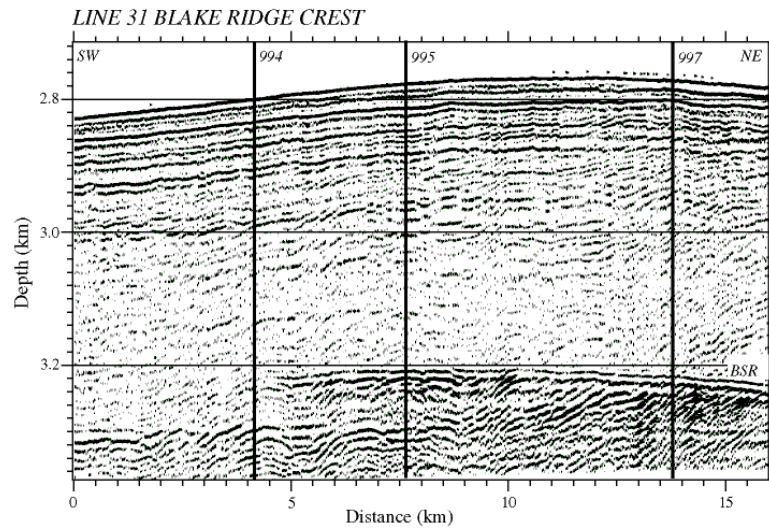


Il BSR non e' chiaramente visibile ma viene indicato dalla variazione in frequenza del segnale sismico.

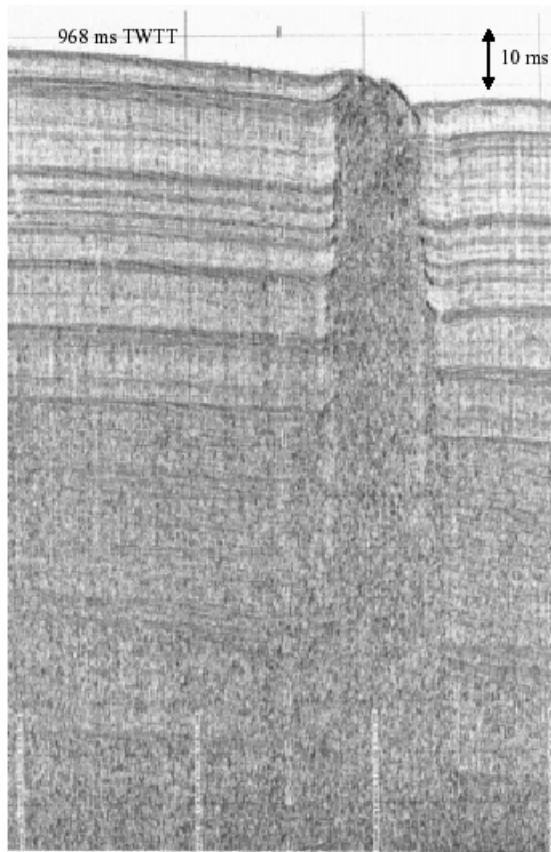
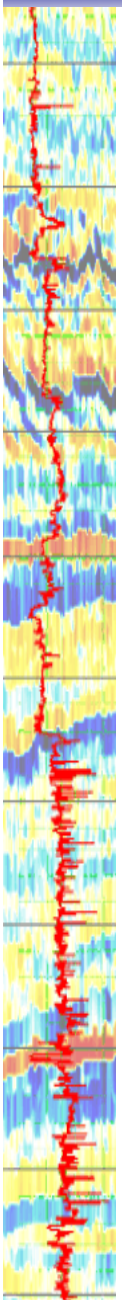
Acoustic blanking



La presenza di idrato riduce il contrasto di impedenza acustica tra i diversi strati all'interno della GHSZ, determinando una riduzione della riflettività.



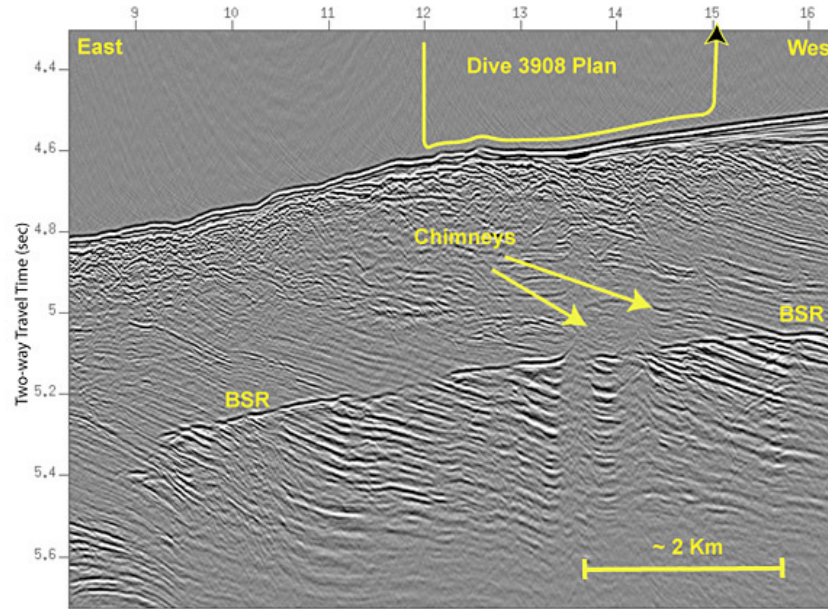
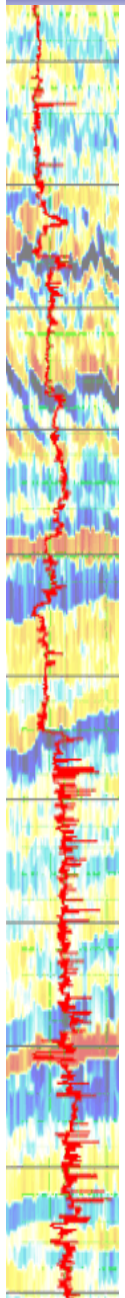
Mud vulcanoes, diapiri, camini



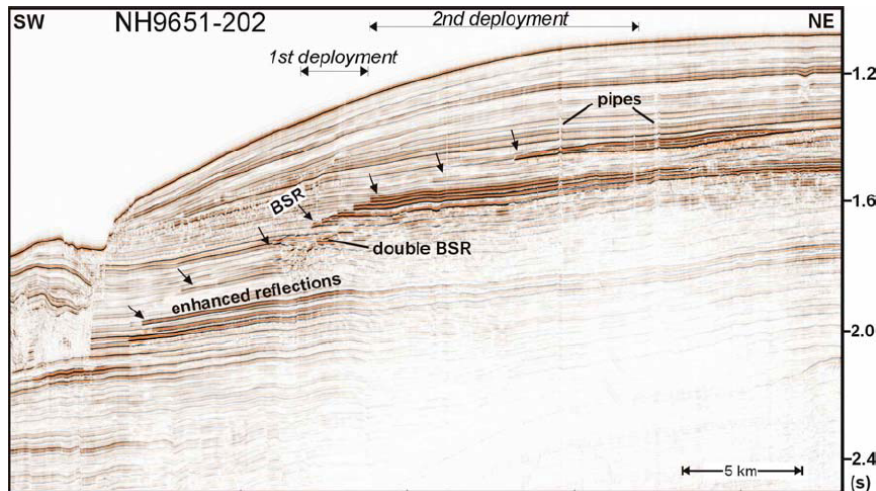
I camini sono delle strutture verticali generate da risalita di fluidi. Quando raggiungono il fondale formano dei crateri che possono raggiungere i 350 m di diametro ed i 35 metri di profondità'. Sono presenti in zone ricche di idrato. Al largo del Maine (USA) raggiungono una densità di 160 crateri per km² ed alcuni di essi rilasciano free gas.



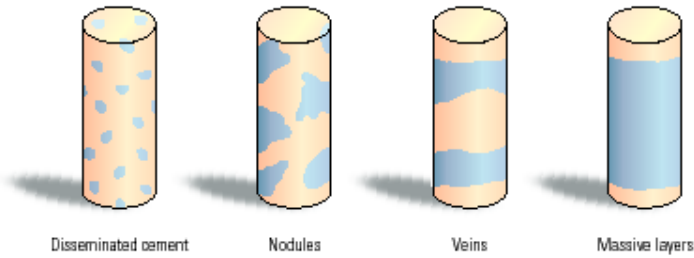
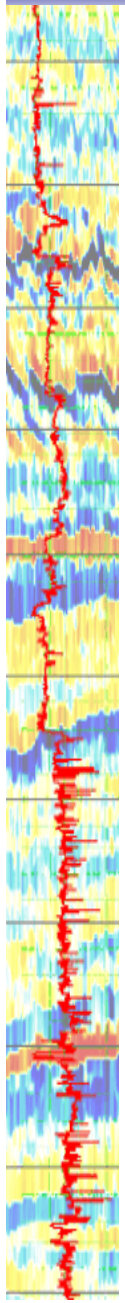
Mud volcanoes, diapiri



Line R39



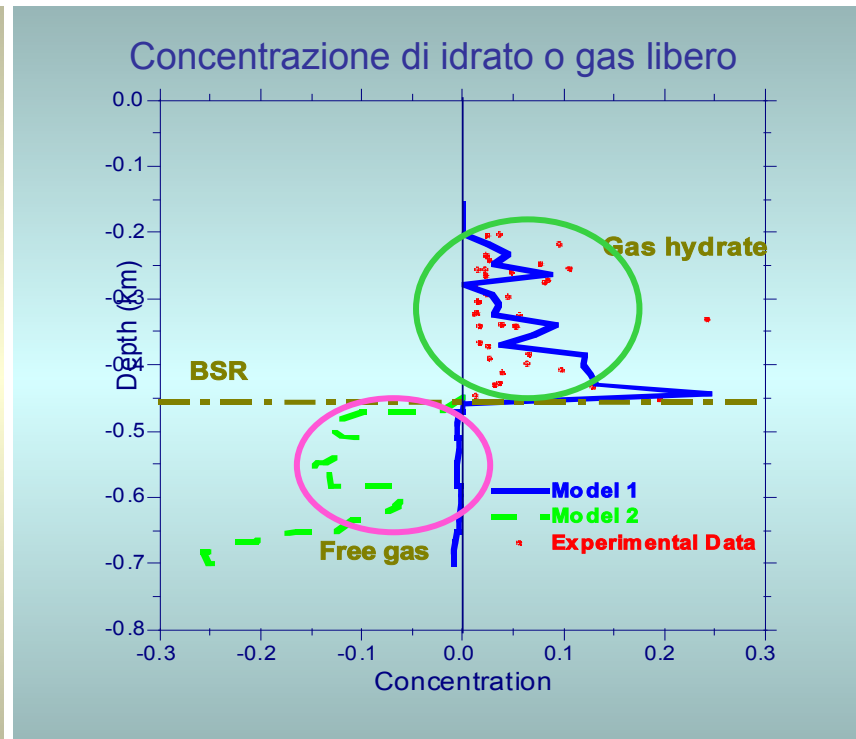
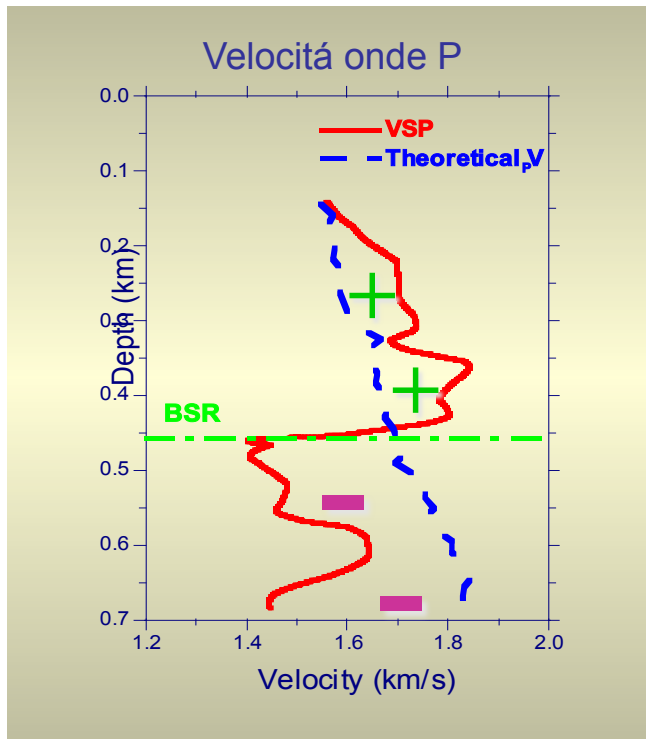
Quantificazione del contenuto di gas idrato



Metodi:

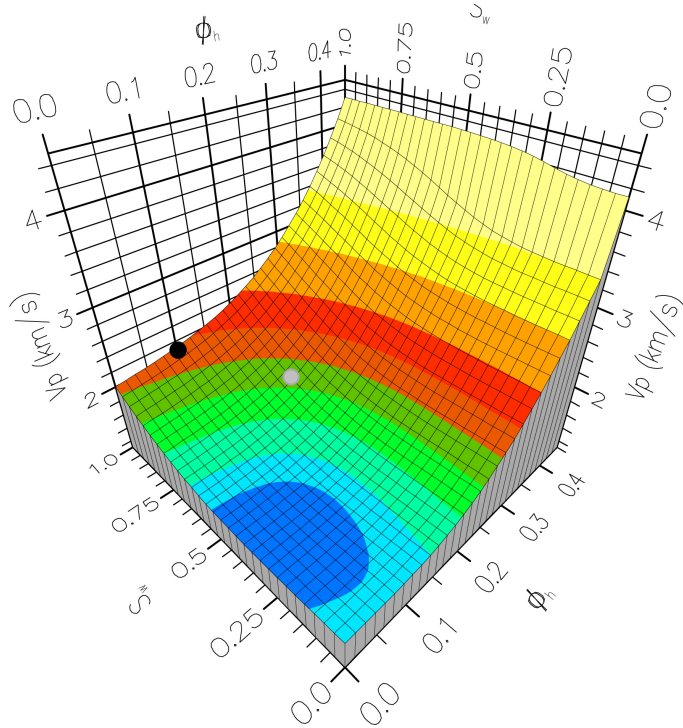
- Velocità delle onde sismiche
- Well logs (resistivity, sonic log)
- Analisi di clorinita' (core samples)

ODP LEG 164, well 997 (Blake Ridge)

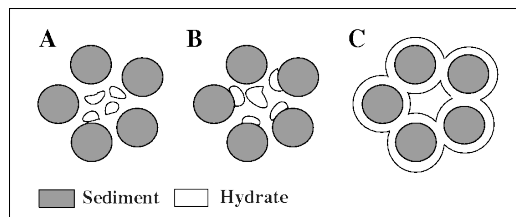


Quantificazione del contenuto di gas idrato

Modelli per mettere in relazione velocità delle onde sismiche e contenuto di idrato.



Modelli di distribuzione dell' idrato nei pori.



Porosità 45% = 0.45 (il 55% della roccia è formata da grani solidi come quarzo ed il 45% può essere occupato da idrato, acqua o free-gas)

S_w = saturazione d'acqua (free-gas - acqua) è la quantità relativa di acqua rispetto al gas

S_g = saturazione di free gas ($1 - S_w$); quindi $S_w + S_g = 1$

ϕ_h = contenuto di idrato riferito alla porosità (0-0.45 = 0-45%)

Esempio1 : ●

$\phi_h = 0.1$ (il 10% della roccia è costituito da gas idrato (solido) e quindi $0.45 - 0.1 = 0.35$ (35%) è la porosità che resta per i fluidi (acqua e gas)

$S_w = 1$: il 35% della roccia non è occupata da grani di roccia o idrato ed è interamente occupata da acqua

$V_p \approx 2100$ m/s

Esempio2 : ●

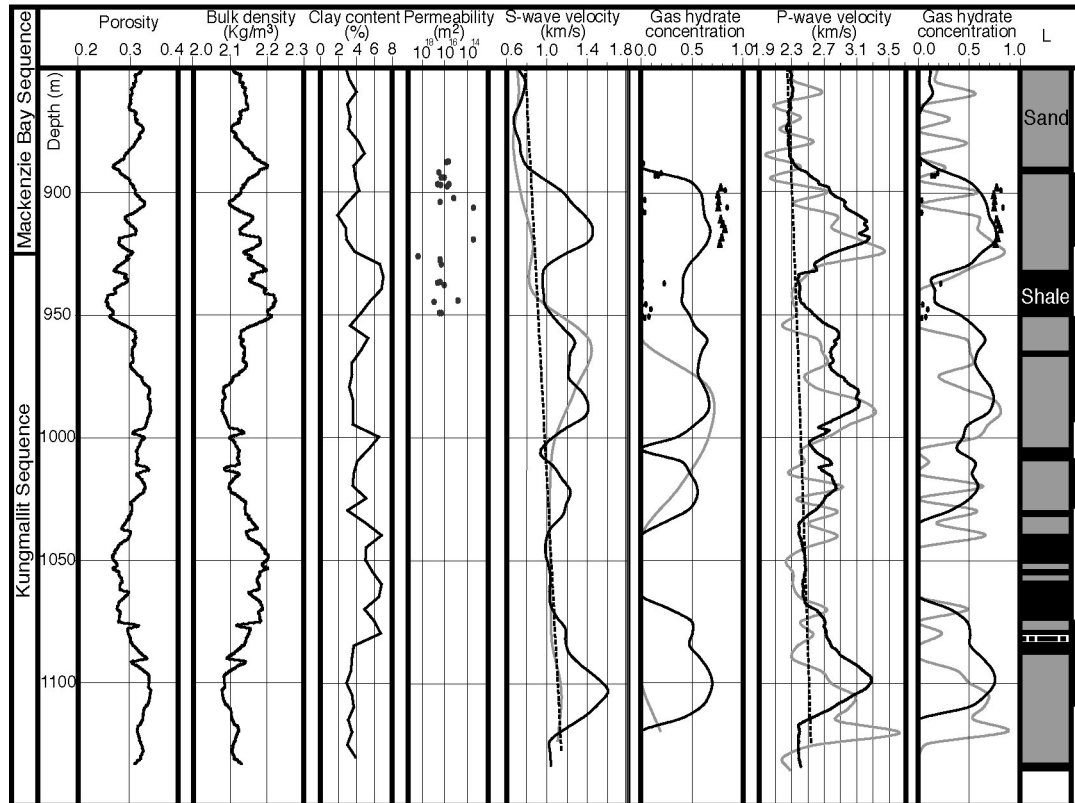
$\phi_h = 0.2$ (il 20% della roccia è costituito da gas idrato (solido) e quindi $0.45 - 0.2 = 0.25$ (25%) è la porosità che resta per i fluidi (acqua e gas)

$S_w = 0.7$: il 25% della roccia non occupata da grani di roccia o idrato, è occupata per l'70% da acqua e per il 30% da gas allo stato libero. Quindi, 55% grani roccia, 20% idrato solido, 17.5% da acqua e 7.5% da free gas.

$V_p \approx 1900$ m/s

Quantificazione del contenuto di gas idrato

Mallik well

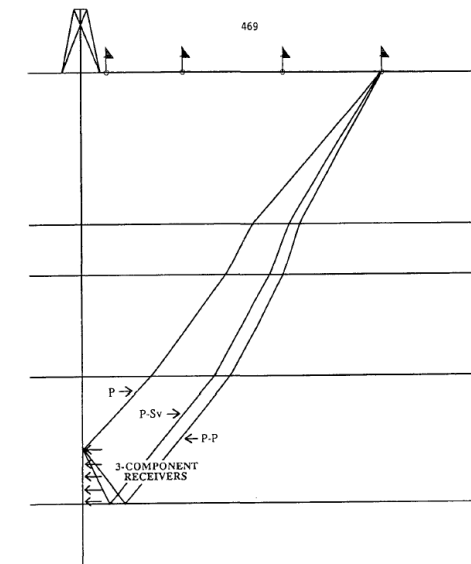


Carcione J.M., Gei D., 2004: *Gas hydrate concentration estimated from P- and S-wave velocities at the Mallik 2L-38 research well, Mackenzie Delta, Canada.* Journal of Applied Geophysics. **56**, 73-78.

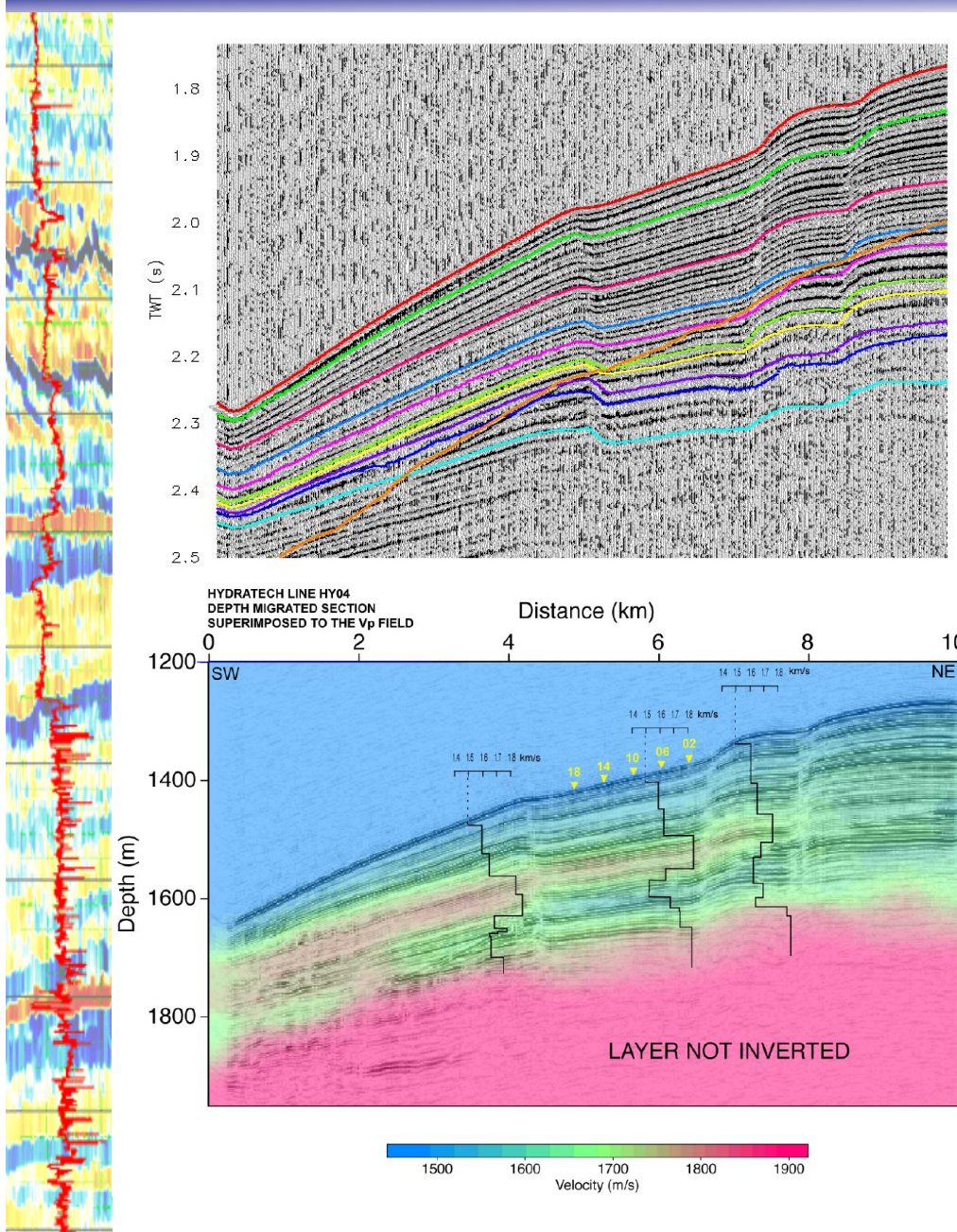
In grigio le velocità sismiche da VSP (o il contenuto di idrato ottenuto dalle stesse); in nero velocità sismiche da sonic log (o il contenuto di idrato ottenuto dalle stesse). Le curve tratteggiate sono delle curve di riferimento per sedimenti che non contengono idrato. I simboli nei pannelli relativi alla concentrazione di gas idrato rappresentano stime ottenute con l'analisi di clorinità.

Vertical seismic profile (VSP)

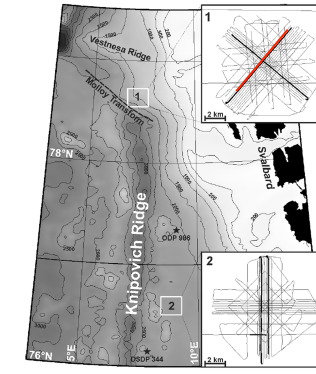
Misura delle velocità delle onde sismiche nelle vicinanze di un pozzo attraverso sorgenti in superficie e ricevitori calati nel pozzo.



Tomografia sismica



BSR



Isole Svalbard

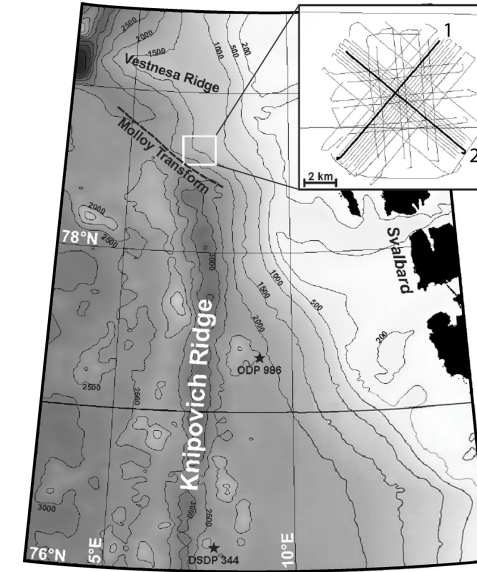
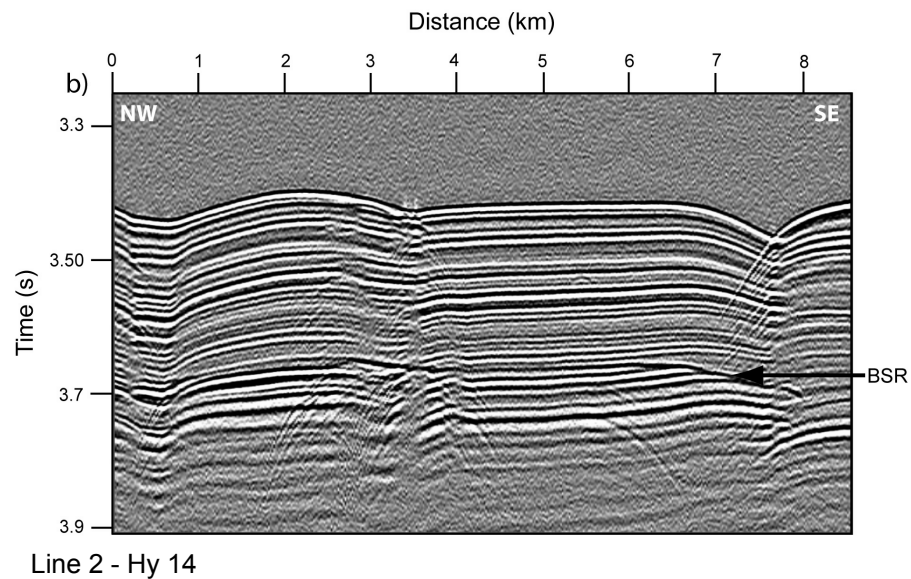
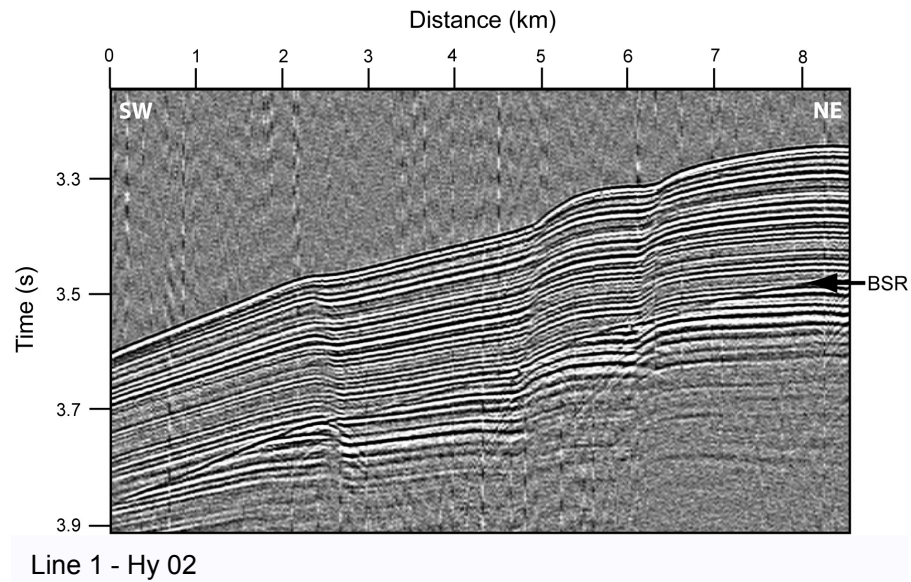
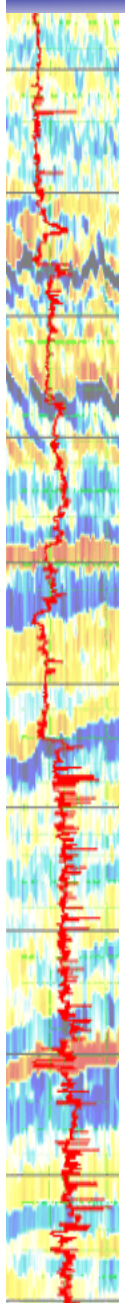
La tomografia sismica e' una procedura che consente di ricostruire campi di velocita' dai dati sismici. Consiste in due fasi:

- Identificazione delle discontinuita' acustiche (orizzonti) e determinazione dei traveltimes (picking)
- Determinazione del campo di velocita' attraverso procedure iterative.

Campi di velocita' e modelli teorici consentono di stimare (non determinare) il contenuto di idrato nei sedimenti.



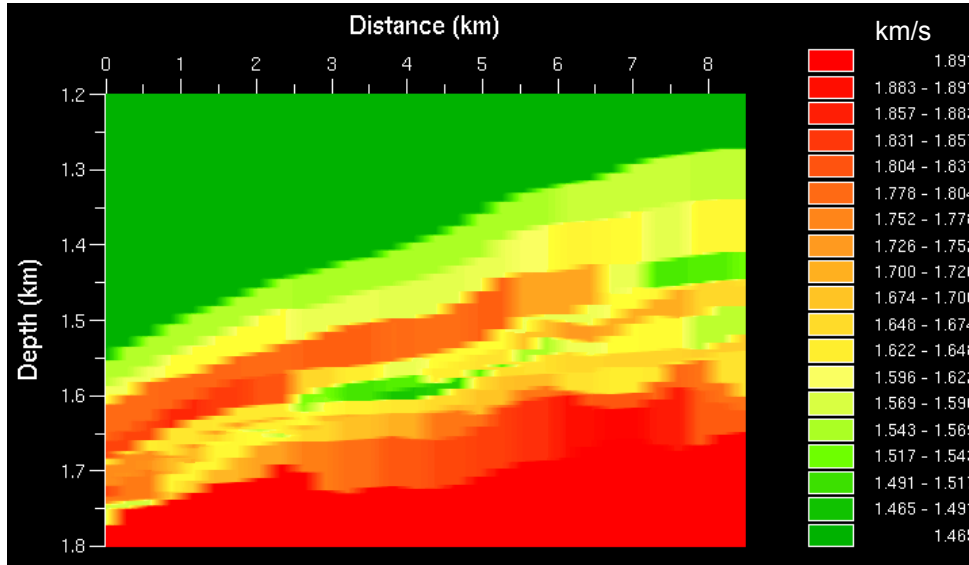
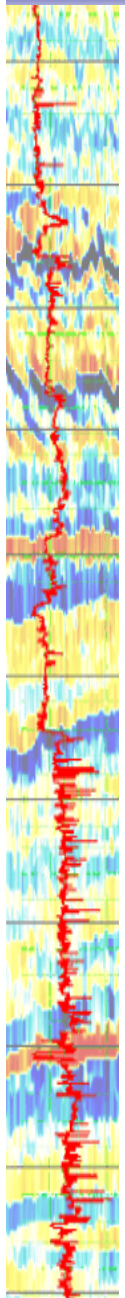
Quantificazione degli idrati: isole Svalbard



From Vanneste et al., 2002

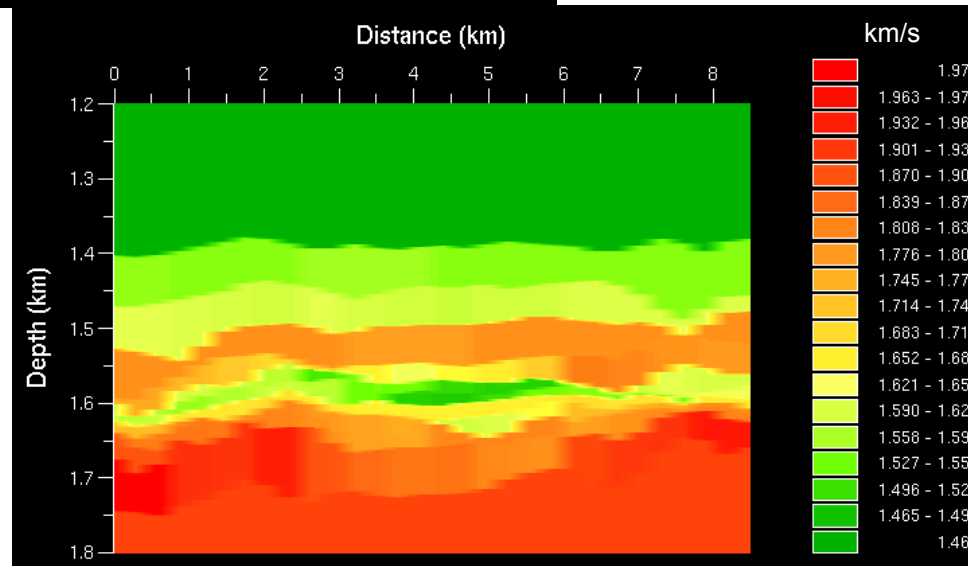


Tomographic P-wave velocities



Line 1 - Hy 02

Line 2 - Hy 14

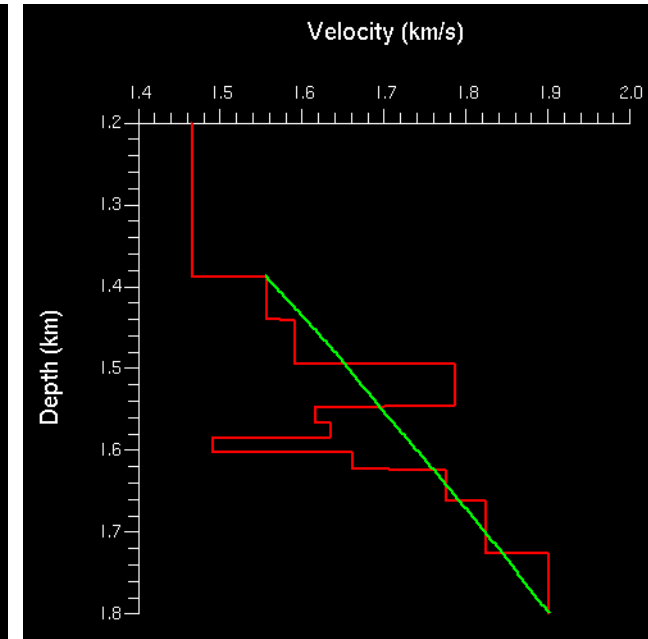
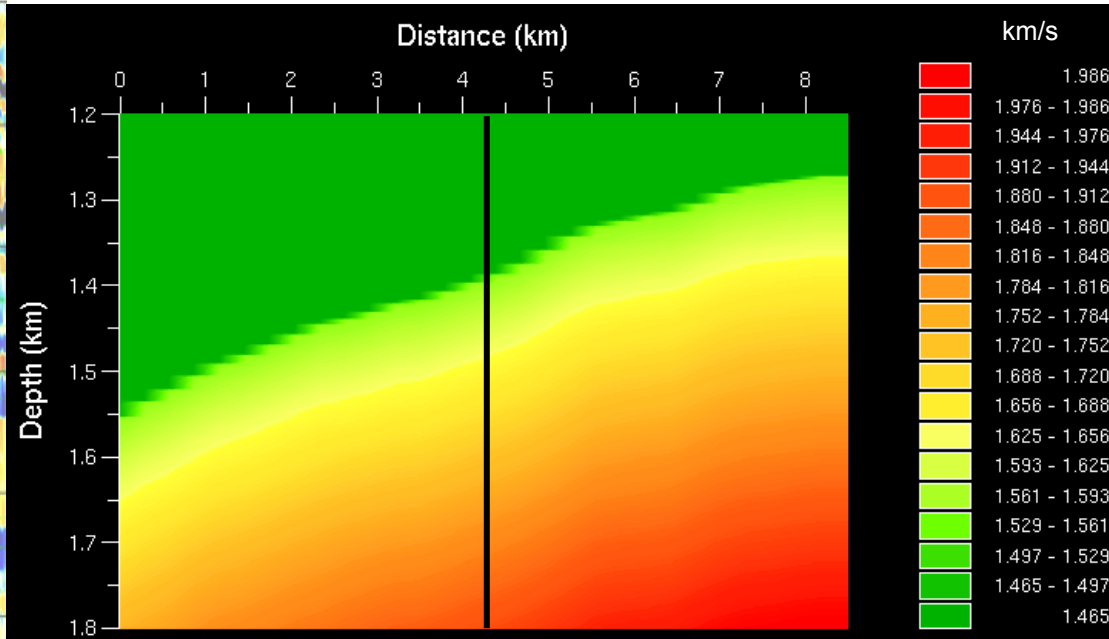




Reference P-wave velocities

Campo delle velocità di riferimento

Profilo di velocità

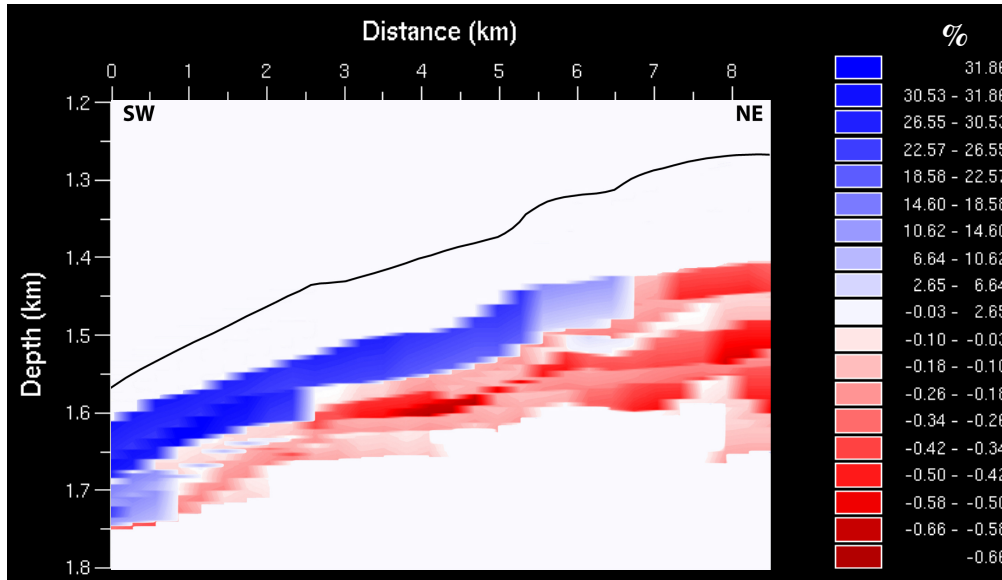
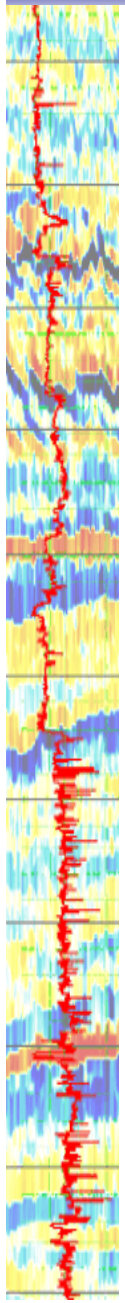


La velocità di riferimento si ottiene dalla tomografia o da pozzi di calibrazione in zone in cui non c'è l'idrato, o da relazioni empiriche per generici sedimenti marini (Hamilton)

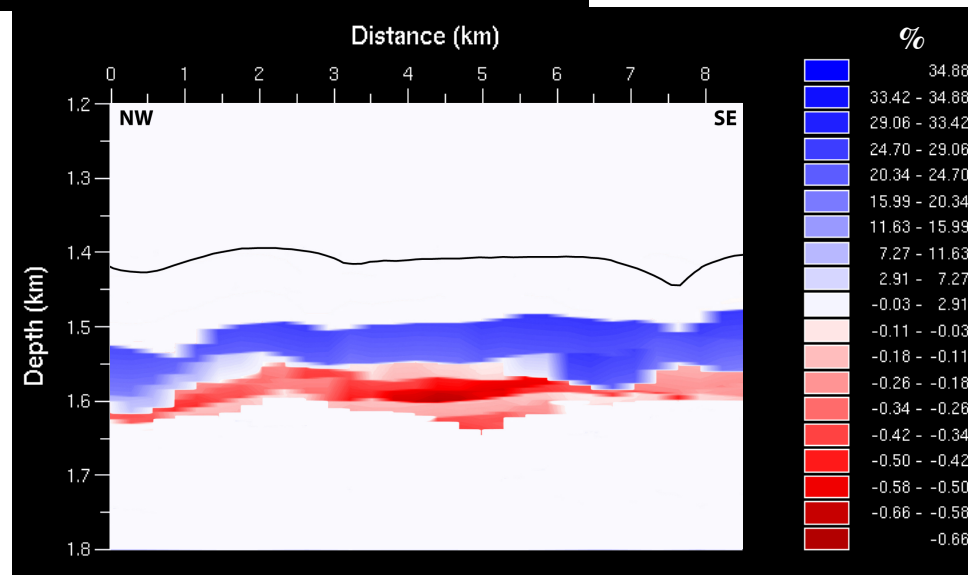
Spezzata rossa: velocità tomografiche
Curva verde: velocità di riferimento



Gas hydrate and free-gas saturations

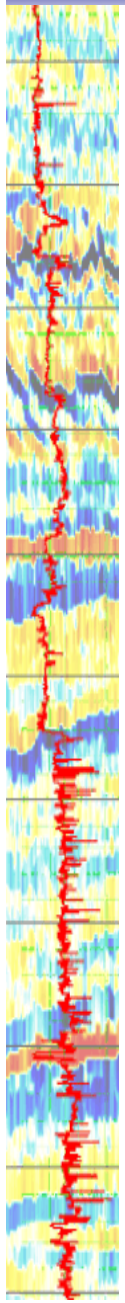


Line 2 - Hy 14

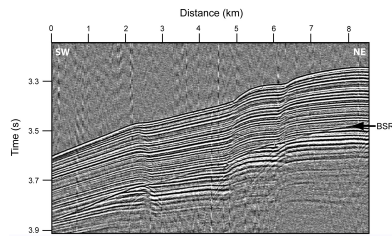


Blu: gas idrato
Rosso: gas libero

Ricapitolando



Dati sismici

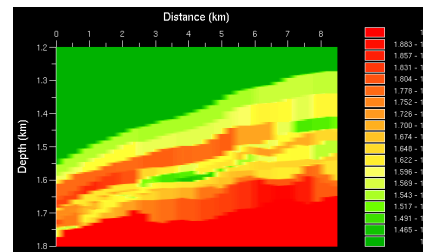


Line 1 - Hy 02

Inversione tomografica



Campi di velocità

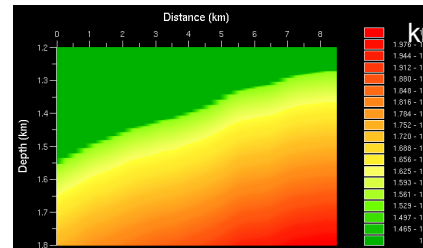
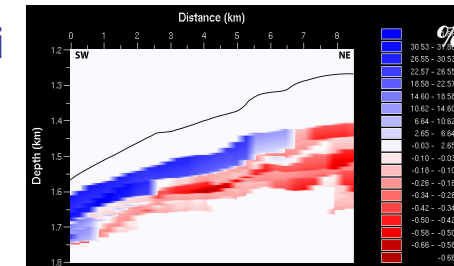


Velocità tomografica

Modelli teorici



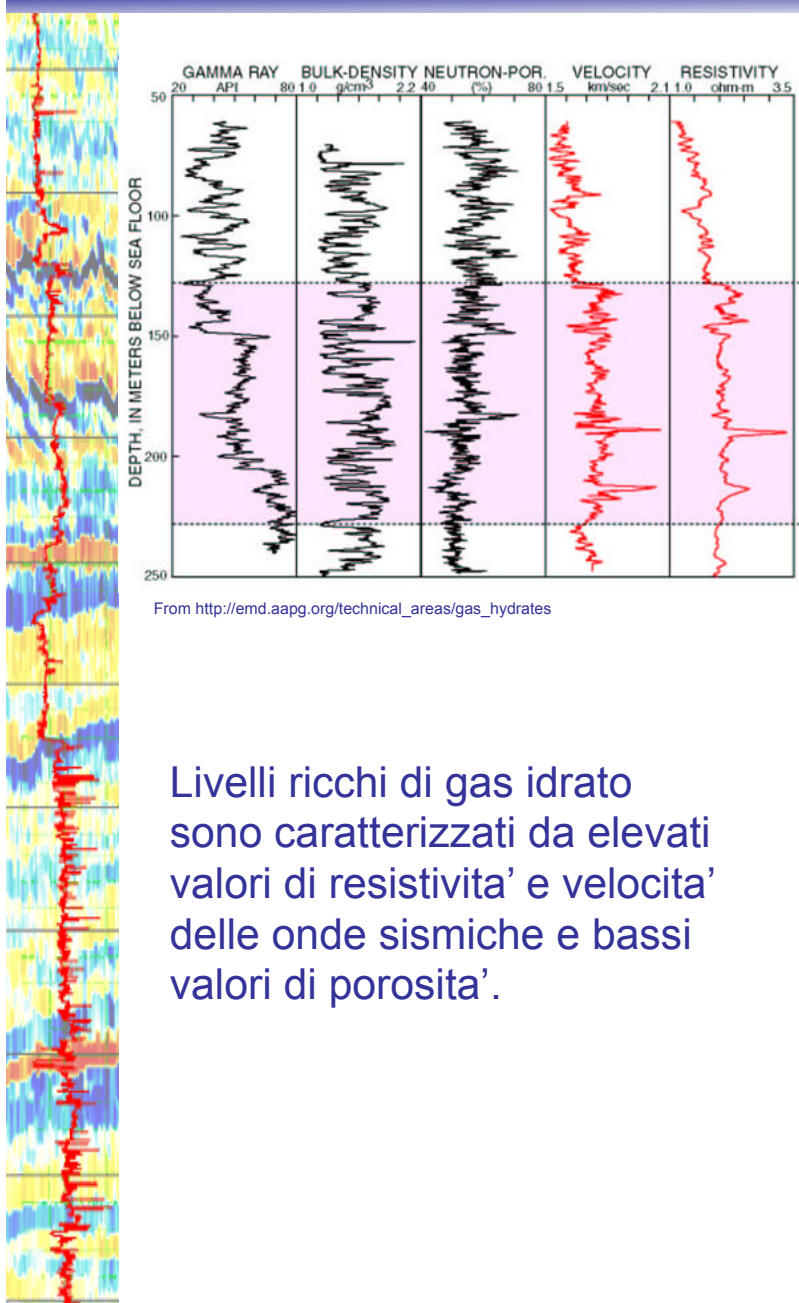
Contenuto di gas-
idrato e gas libero



Velocità di riferimento

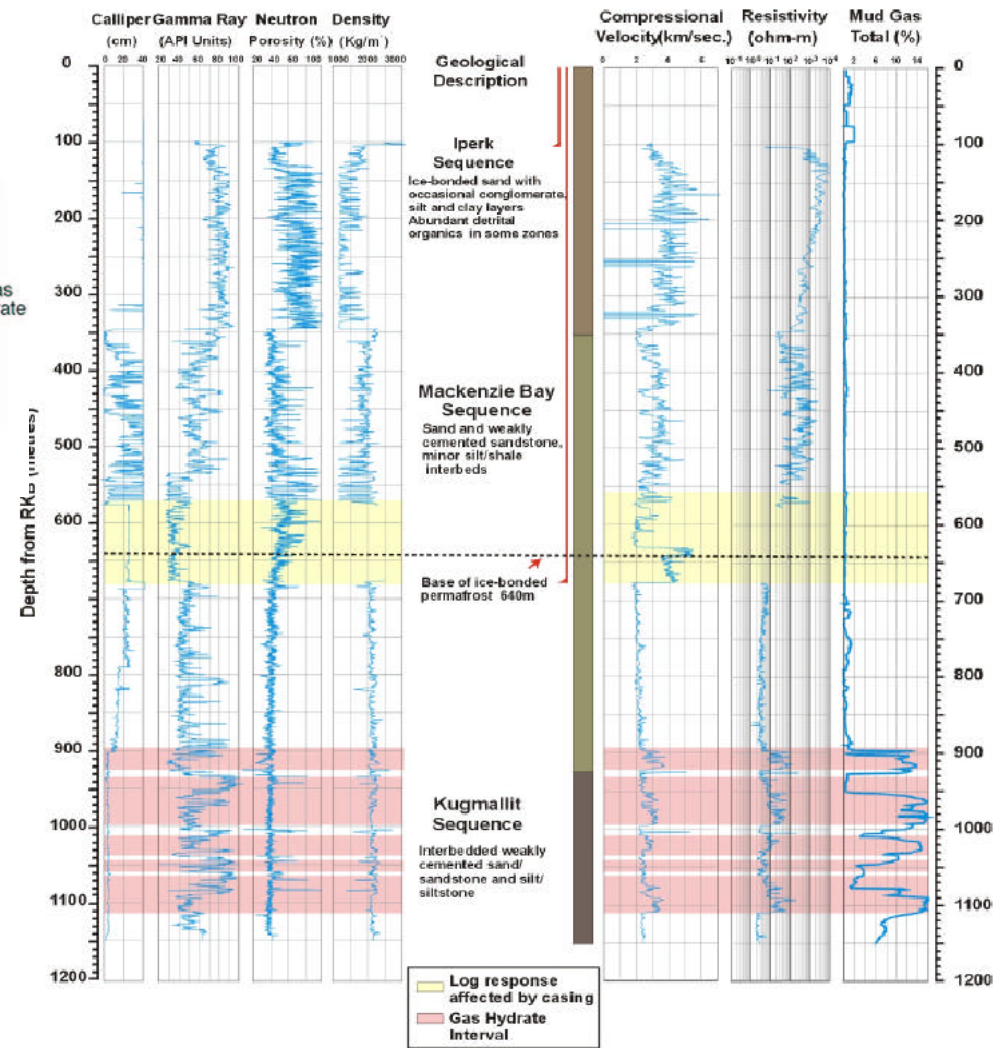


Well logs



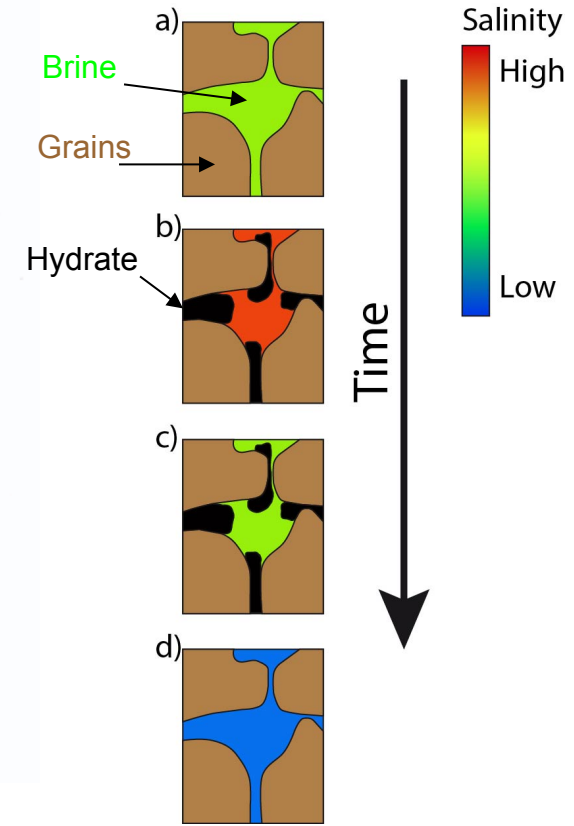
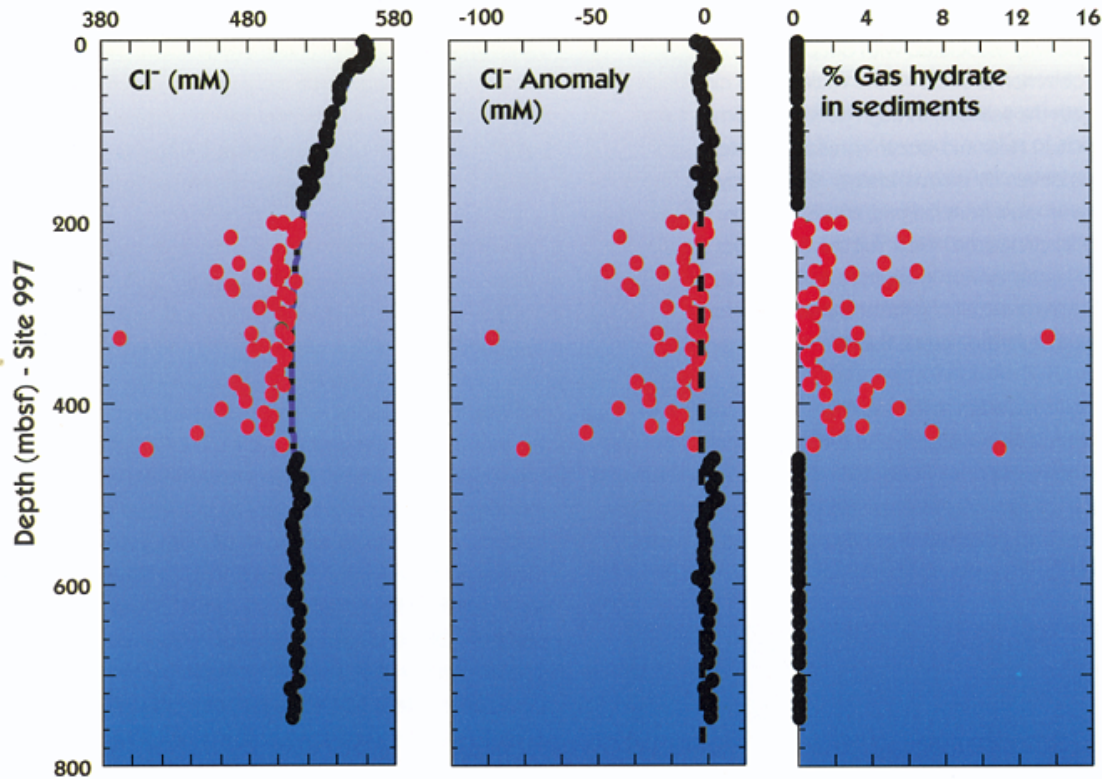
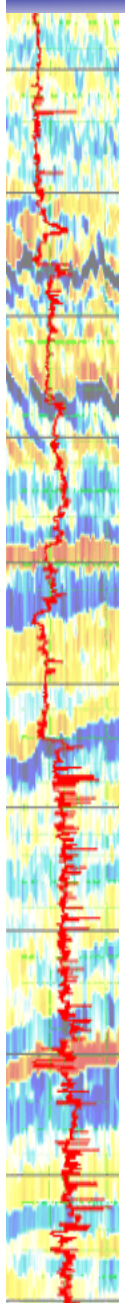
From http://emd.aapg.org/technical_areas/gas_hydrates

Livelli ricchi di gas idrato sono caratterizzati da elevati valori di resistività e velocità delle onde sismiche e bassi valori di porosità.



Mallik

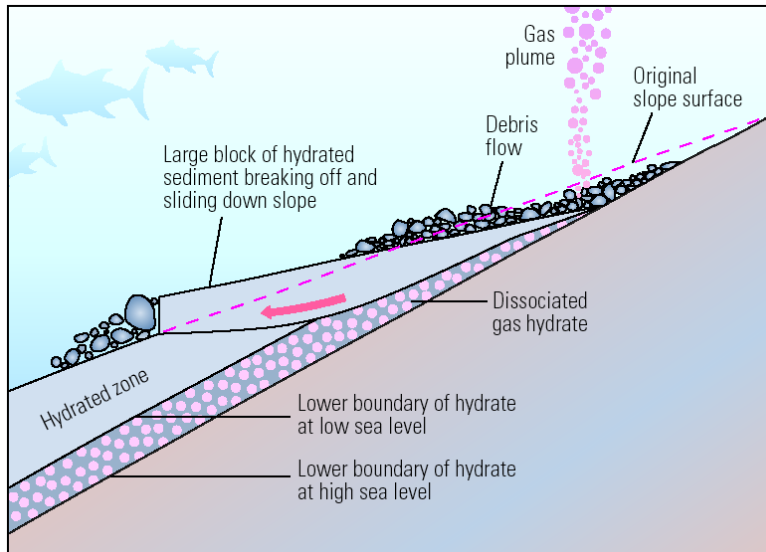
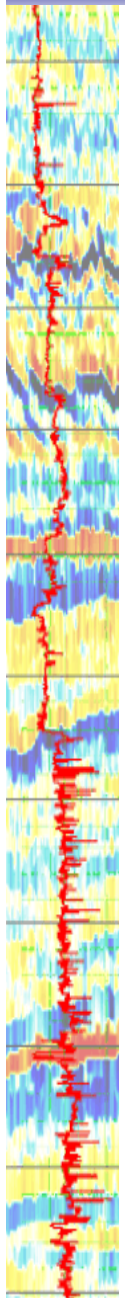
Anomalia di clorinita'



Durante la formazione dell'idrato i sali (in forma ionica) vanno a concentrarsi nell'acqua che rimane nei pori determinando un gradiente di salinità. Con il tempo i sali si disperdono e l'acqua riacquista una salinità "normale". Il recupero di campioni di sedimento con idrato determina dissociazione, espulsione di metano e diluizione di Cl nell'acqua.



Implicazioni climatiche e stabilità dei fondali



Clima

Il metano è un gas serra 56 volte più potente rispetto all'anidride carbonica su un arco di 20 anni, e 21 volte più potente su un arco di 100 anni. Il metano intrappolato sotto forma di idrato è, forse, 3000 volte la quantità di metano presente nell'atmosfera.

Riscaldamento globale

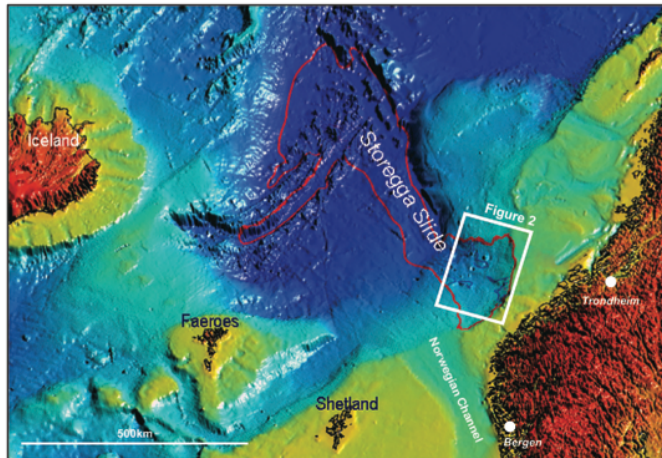
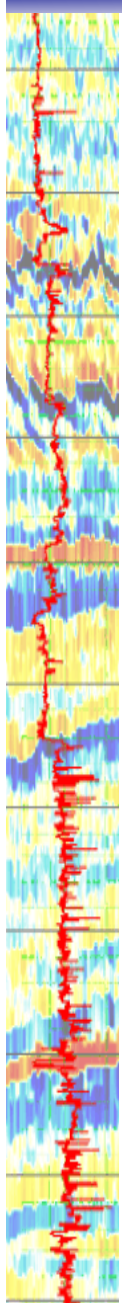
+ temperatura al fondo
⇒ riduzione spessore GHSZ

+ pressione per aumento livello marino
⇒ aumento spessore GHSZ

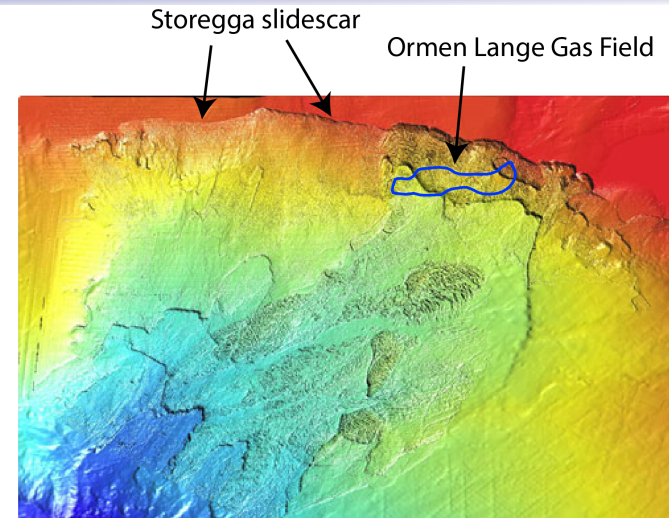
Stabilità dei fondali

La dissociazione di idrato può indebolire la resistenza agli sforzi di taglio (shear stress) dei sedimenti causando frane sottomarine.

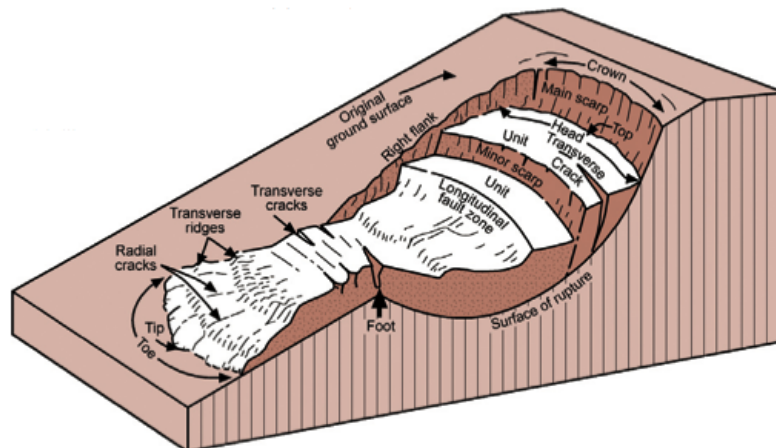
Storegga slide



Bathymetric map of the southern Norwegian Sea and the Norwegian margin area with outline of the Storegga Slide (from Færseth & Sætersmoen 2008)



Bathymetric map of the Storegga Slide scar (after Færseth & Sætersmoen 2008)

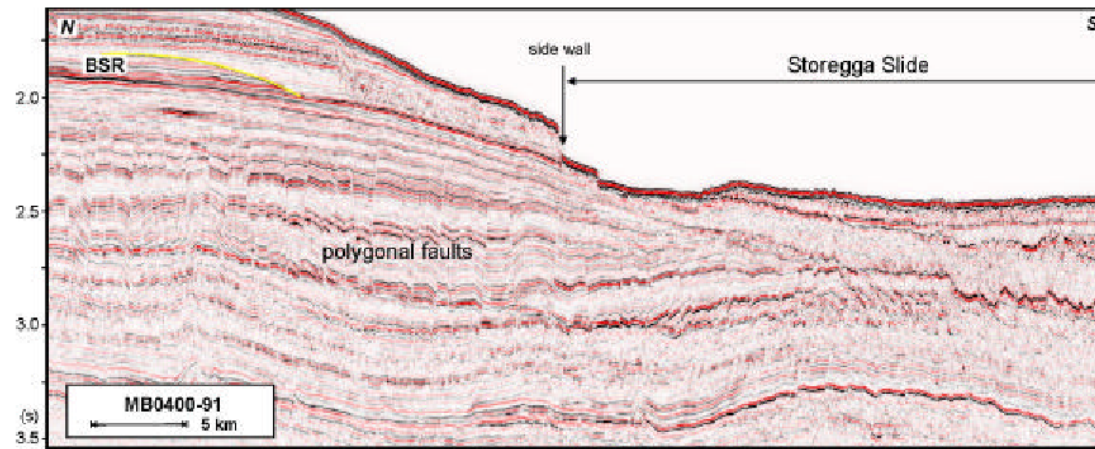
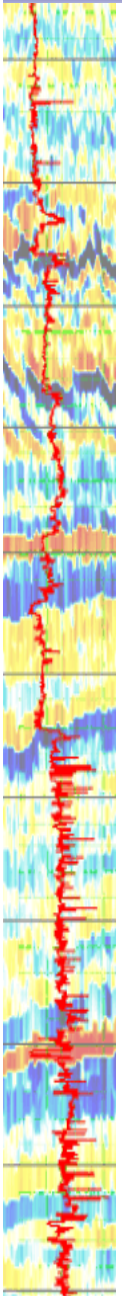


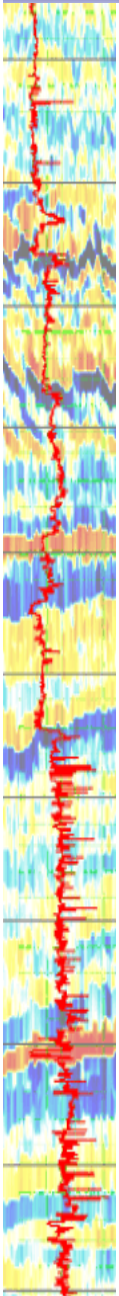
Schematic illustration showing characteristic geometries associated with gravitational collapse structures (after Echel 1958).

E' la frana sottomarina piu' grande al mondo, con un volume di 3500 km³ di materiale rimosso. L'area di distacco e' alta 250 m e lunga quasi 300 km. La frana si estende su un'area di 3400 km². Si e' sviluppata in tre eventi successivi (forse 7), uno dei quali ha provocato uno tsunami (7200 a.C.). La dissociazione di idrati ha avuto un ruolo importante, anche se la causa scatenante sembra sia stata un terremoto.

https://en.wikipedia.org/wiki/Storegga_Slide

Storegga slide



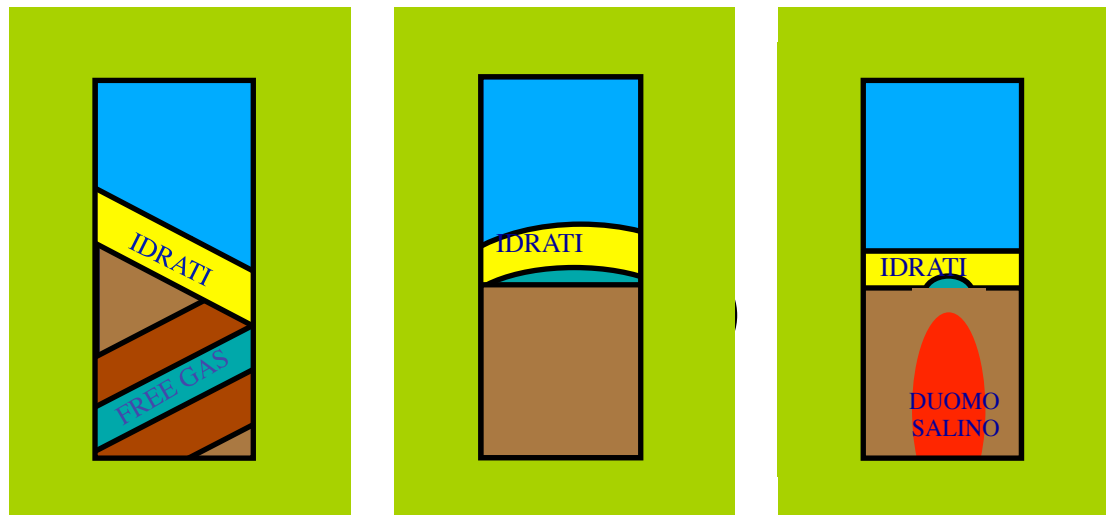


Metodi per lo sfruttamento dei gas idrati:

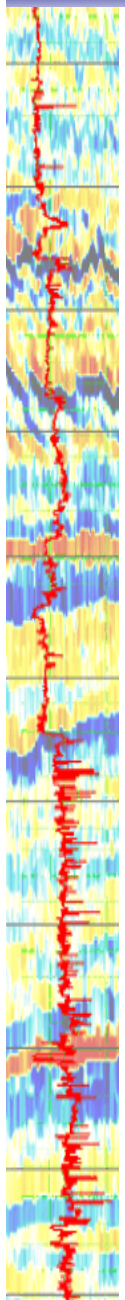
- Depressurizzazione
- Iniezione di liquidi inibitori (thermal stimulation)
- Iniezione di liquidi inibitori (chemical inhibition)

Problemi legati allo sfruttamento dei gas idrati:

- Causa di instabilità del fondale
- Effetti climatici a lungo termine
- Eccessiva dispersione nel sedimento



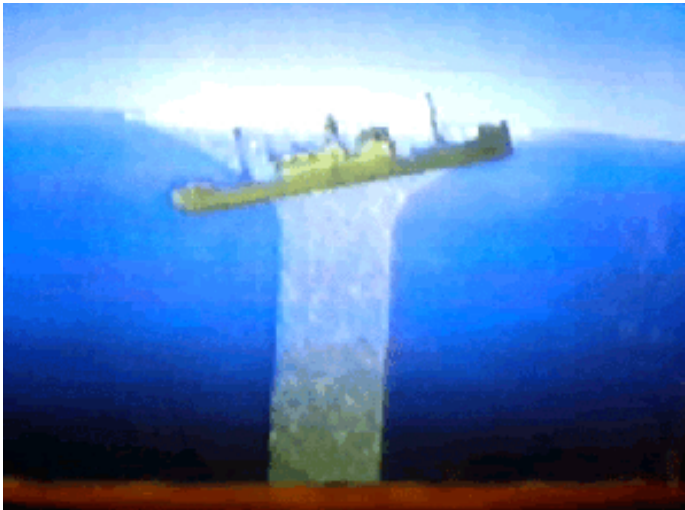
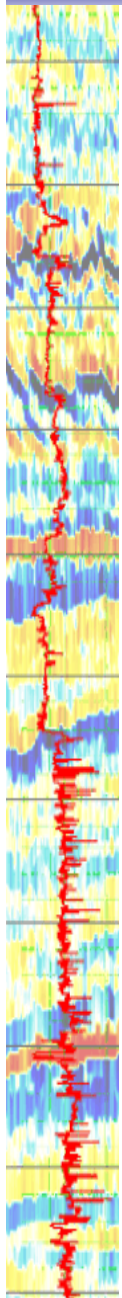
Idrati e biologia



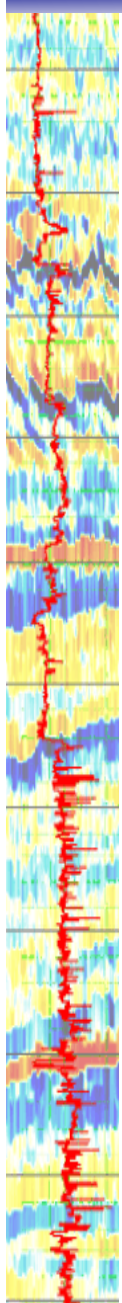
Nel 1997 sono stati scoperti gli “ice-worms”
che vivono solo su idrati in affioramento.

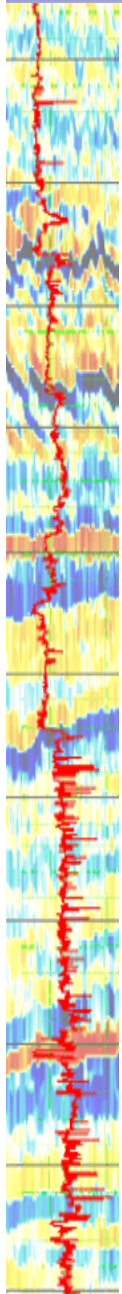
Tra scienza e leggenda

- Tra le varie speculazioni sull'origine dell'affondamento di navi nel cosiddetto 'triangolo delle Bermude', vi è quella, tutt'altro che infondata, della dissociazione di idrati di metano dal fondale marino.
- La zona del 'Triangolo' coincide con una delle aree di maggior accumulo di idrati del pianeta. Se il metano fosse rilasciato periodicamente dal fondo del mare (ma di questo manca la prova), un nave di passaggio verrebbe affondata dalla diminuzione di spinta sugli scafi per un fluido meno denso dell'acqua (acqua con bolle).
- L'ipotesi, formulata da esperti di questa materia, non è stata ancora accettata dalla comunità scientifica.



Conclusioni

- 
- A vertical seismic profile is shown on the left side of the slide. It features a red line representing a seismic trace overlaid on a background of colorful seismic data, with colors ranging from blue to yellow and red. The profile shows various peaks and troughs, indicating different geological layers and structures.
- **Gli idrati naturali di metano sono presenti sulla gran parte dei margini continentali del globo.**
 - **E' ormai una dato indiscutibile che questi depositi interagiscono con l' ambiente circostante adattandosi a mutate condizioni ambientali e controllando l' ecosistema marino locale.**
 - **E' altamente probabile che gli idrati abbiano un ruolo importante nel controllo del clima tramite il rilascio e la ritenuta di metano (un gas serra ad alto potenziale)**
 - **E' dimostrato che la dissociazione (naturale o indotta dall' uomo) di idrati naturali può innescare instabilità dei pendii sottomarini con conseguenze potenzialmente catastrofiche**
 - **La ricerca scientifica sta muovendo i primi passi. Vi è una convergenza internazionale per lo studio di questi composti nel loro ambiente naturale. In Italia non vi e' una strategia in proposito.**



Carcione J.M., Gei D., Rossi G., Madrussani G., 2005: *Estimation of gas hydrate concentration and free-gas saturation at the Norwegian-Svalbard continental margin*. *Geophysical Prospecting*, **53** (6), 803-810.

Carcione J.M., Gei D., 2004: *Gas hydrate concentration estimated from P- and S-wave velocities at the Mallik 2L-38 research well, Mackenzie Delta, Canada*. *Journal of Applied Geophysics*. **56**, 73-78.

Chand S., Minshull T., Gei D., Carcione J.M., 2004: *Elastic velocity models for gas-hydrate bearing sediments – a comparison*. *Geophysical Journal International*, 159 (2), 573-590. ([doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02387.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02387.x))

Gei D., Carcione J.M., 2003: *Acoustic properties of sediments saturated with gas hydrate, free gas and water*. *Geophysical Prospecting*, **51**, 141-157.

Rossi G., Gei D., Böhm G., Carcione J. and Madrussani G., 2006: *Attenuation tomography: an application to gas-hydrate and free-gas detection*. *Geophysical Prospecting* (submitted).

Tinivella U., 1999: A method for estimating gas hydrate and free gas concentrations in marine sediments, *Boll. Geof. Teor. e Appl.*, 40, 1, 19-30.

Tinivella, U., Carcione, J.M., 2001: Estimations of gas-hydrate concentration and free-gas saturation from log and seismic data, *The leading edge*, february 2001, 200-203.